

Hals-Nasen-Ohren-Klinik und Poliklinik der Technischen Universität  
München Klinikum rechts der Isar  
(Direktor: Univ.-Prof. Dr. H. A. Bier)

**Ist die thermische Vestibularisprüfung durch eine  
Kombination von Vibrationsreizung und aufgezeichneten  
Kopfpulstest am Beispiel von der Neuritis vestibularis  
und Morbus Menière ersetzbar?**

Marianne Ritscher

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der  
Technischen Universität München zur Erlangen des akademischen  
Grades eines

Doktors der Medizin

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.- Prof. Dr. E. J. Rummeny

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.- Prof. Dr. K. F. Hamann
2. Univ.- Prof. Dr. H. A. Bier

Die Dissertation wurde am 19.09.2013 bei der Technischen Universität  
München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 17.09.2014  
angenommen.

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	- 3 -
1.1 Funktionelle Anatomie des vestibulären Systems	- 4 -
1.2. Diagnostik des vestibulären System	- 10 -
1.2.1 Untersuchung der räumlichen Orientierung	- 10 -
1.2.2 Untersuchung der Blickmotorik	- 11 -
1.2.3 Testverfahren des Vestibularapparates	- 12 -
1.2.3.1 Vestibulookulärer Reflex	- 13 -
1.2.3.2 Thermische Prüfung der horizontalen Bogengänge	- 15 -
1.2.3.3 Vibrationsinduzierter Nystagmus	- 15 -
1.2.3.4 Rotatorischer Nystagmus	- 15 -
1.2.3.5 Optokinetischer Nystagmus	- 16 -
1.2.3.6 Untersuchung des Utrikulus	- 16 -
1.2.3.7 Untersuchung des Sacculus (VEMP)	- 17 -
1.3. Dokumentationsmethoden der Augenbewegungen	- 17 -
1.4 Untersuchung der Spinalmotorik	- 18 -
1.5. Definition peripher-vestibulärer Krankheitsbilder	- 18 -
1.5.1 Neuritis vestibularis	- 18 -
1.5.2 Morbus Menière	- 19 -
1.6 Vergleich von thermischer Reizung, Kopfpulstest und vibrationsinduziertem Nystagmus	- 21 -
2. Methodik	- 25 -
2.1. Registrierung der Augenbewegungen	- 25 -
2.1.1 Registrierung der Augenbewegungen mittels Videookulographie (VOG-Brille)	- 25 -
2.1.1.1 Apparativer Aufbau	- 25 -
2.1.1.2 Registrierung der spontanen Augenbewegungen	- 27 -
2.1.2 Registrierung der Augenbewegungen mittels hochfrequenter Videokopfpulsbrille (HIT-Brille)	- 27 -
2.2 Thermische Prüfung	- 28 -
2.2.1 Apparativer Aufbau	- 28 -
2.2.2 Untersuchungsablauf	- 28 -
2.2.3 Auswertungen	- 29 -
2.3 Vibrationsinduzierter Nystagmus	- 30 -
2.3.1 Apparativer Aufbau	- 30 -
2.3.2 Untersuchungsablauf	- 30 -
2.3.3 Auswertung	- 31 -
2.4. Videokopfpulsbrille (HIT-Brille)	- 31 -
2.4.1 Apparativer Aufbau	- 31 -
2.4.2 Untersuchungsablauf	- 32 -
2.5 Untersuchungskollektiv	- 36 -
2.5.1 Kontrollgruppe	- 36 -
2.5.2 Patientenkollektiv	- 36 -
2.6 Statistische Bearbeitung	- 37 -
3. Ergebnisse	- 38 -
3.1 Kontrollgruppe	- 38 -
3.1.1 Thermische Reizung	- 38 -
3.1.2 Vibrationsinduzierter Nystagmus (VIN)	- 38 -
3.1.3 Vestibulookulärer Reflex (V-HIT)	- 38 -
3.1.4 Spontannystagmus	- 38 -
3.2 Neuritis vestibularis	- 38 -

3.2.1 Thermische Reizung	- 38 -
3.2.2 Vibrationsinduzierter Nystagmus (VIN)	- 44 -
3.2.3 Vestibulookulärer Reflex (V-HIT)	- 46 -
4. Diskussion	- 63 -
4.2 Stellenwert von Kopfimpulstest und Vibrationsreizung in der Neurootologischen Diagnostik	- 68 -
4.3. Ist die thermische Vestibularisprüfung durch eine Kombination von Vibrationsreizung und aufgezeichneten Kopfimpulstest ersetzbar?	- 69 -
5. Zusammenfassung	- 70 -
6. Literaturverzeichnis	- 72 -
7. Abkürzungsverzeichnis und Zitatverzeichnis	- 77 -
8. Abbildungsverzeichnis	- 78 -
9. Tabellenverzeichnis	- 80 -
10. Dankvermerk	- 81 -
11. Lebenslauf	- 82 -

# 1. Einleitung

In den letzten 100 Jahren hat sich die Diagnostik und Therapie vieler Erkrankungen stark gebessert und weiterentwickelt. Endoskopische oder nuklearmedizinische Untersuchungen, hochauflösende Kernspinverfahren oder spezielle Laboruntersuchungen sind nur einige der modernen Testverfahren in der heutigen Routineuntersuchung in Praxis und Klinik.

Der Schwindel stellt weiterhin ein sehr häufiges Beschwerdebild in der Medizin dar und ist im höheren Alter sogar das häufigste Krankheitsbild (Stuckrad-Barre und Strupp, 2000). Moderne Untersuchungsmethoden werden zwar auch hier erfolgreich eingesetzt, dennoch ist zur Zeit immer noch eine aus dem Jahre 1905 von Robert Bárány entwickelte Methode zu Untersuchung von Gleichgewichtsstörungen maßgebend und spielt eine entscheidende Rolle im Alltag des Hals-Nasen-Ohrenarztes sowie großer Schwindelambulanzen.

## 1.1 Funktionelle Anatomie des vestibulären Systems

Der Vestibularapparat dient der Aufnahme von schnellen und langsamen Kopfbewegungen. Das im Innenohr liegende Rezeptororgan besteht dabei aus Messfühlern zur Aufnahme von Linear- und Winkelgeschwindigkeiten. Durch Zusammenwirken des vestibulären, visuellen und propriozeptiven Systems ist eine Aufrechterhaltung unseres Gleichgewichtes und eine räumliche Orientierung im dreidimensionalen Raum möglich. Hierbei werden bei Einwirkung von linearen oder angulären Beschleunigungen entsprechende Informationen des zentralen Nervensystems an den Vestibularapparat und unsere Augen weitergeleitet. Druck- oder Zugkräfte werden an oberflächlichen und tiefen Rezeptoren der Muskulatur registriert und mit den visuellen Informationen im Vestibularsystem verarbeitet (Abb.1).

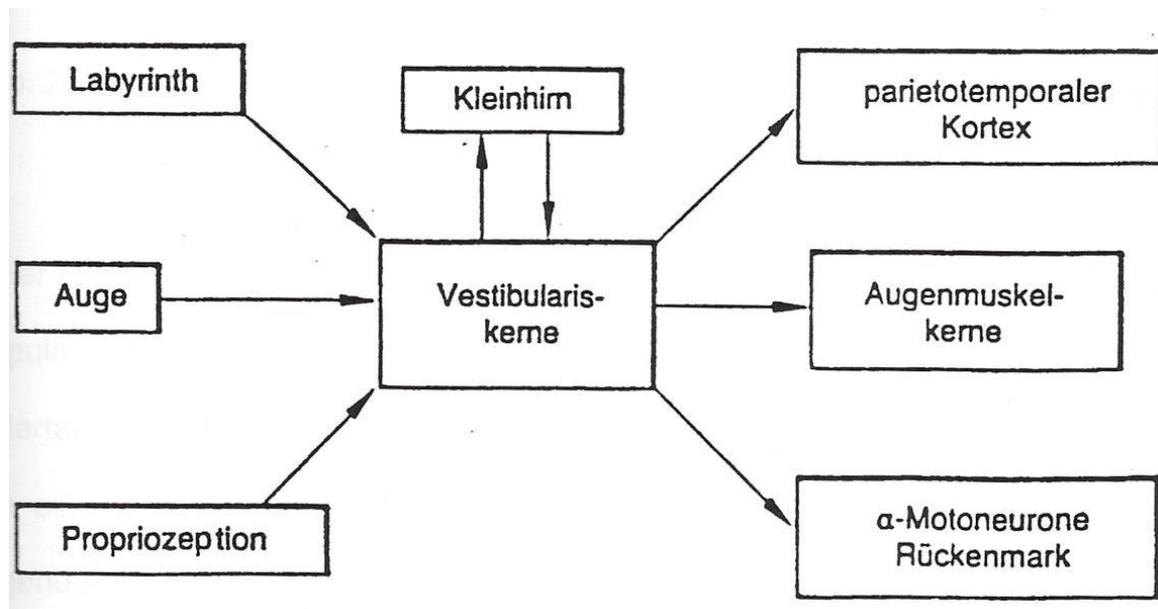


Abb.1: Darstellung der Hauptafferenzen und Efferenzen der Vestibulariskerne (aus: Hamann, K.-F.: Training gegen Schwindel, Springer, Berlin-Heidelberg 1987, S. 15.)

Der vestibuläre Apparat befindet sich anatomisch im knöchernen Felsenbein und bildet zusammen mit der Cochlea das Innenohr. Innerhalb des knöchernen Labyrinths befindet sich ein in sich geschlossenes häutiges Labyrinth, welches mit kaliumreicher Endolymphe gefüllt ist. Das umgebende perilymphatische System steht dagegen mit dem Subarchnoidalraum in Verbindung. Auf jeder Seite des Gleichgewichtsorgans befinden sich zwei Otolithenorgane und drei senkrecht zueinander stehende Bogengangsorgane (Abb.2).

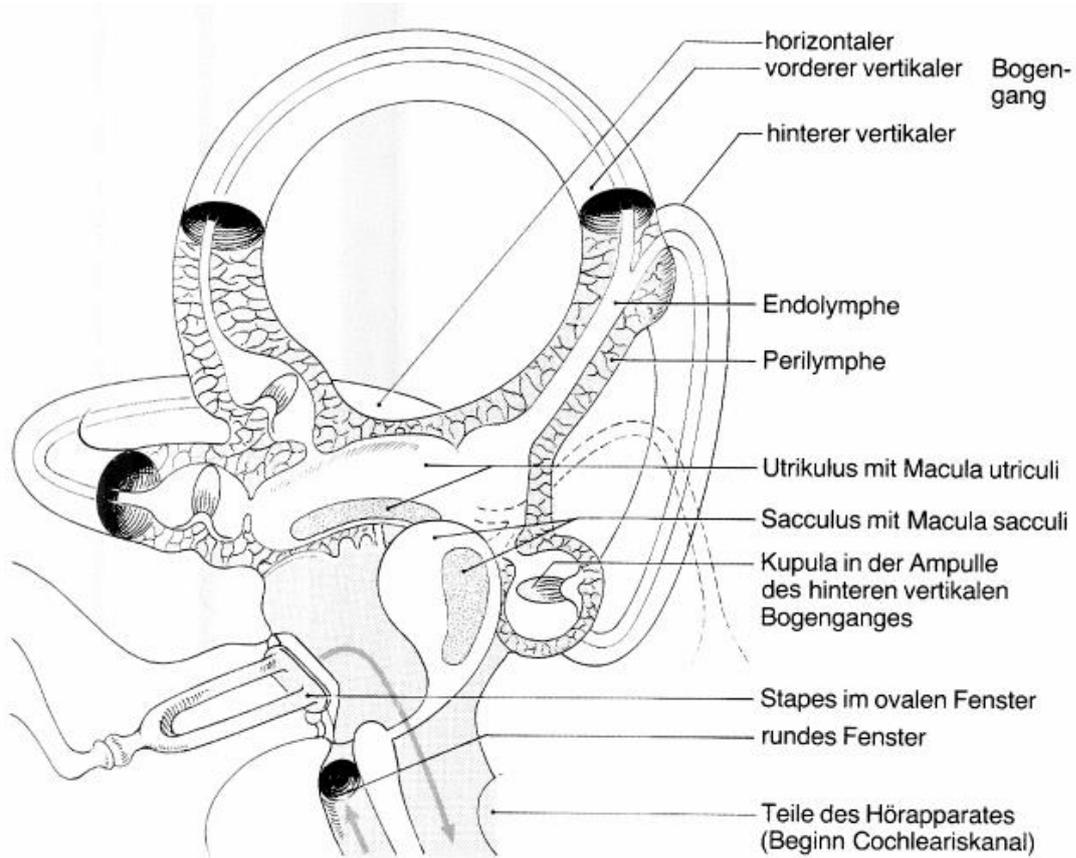


Abb.2: Lage der vestibulären Rezeptoren im Bogengangs- und Otolithenapparat (aus: Hamann, K.-F.: Physiologie und Pathophysiologie des vestibulären Systems. In: Helms, J., Oto-Rhino-Laryngologie in Klinik und Praxis. Thieme, Stuttgart-New York 1994, Band 1, S. 262.)

Die Otolithenorgane Utrikulus und Sakkulus enthalten die horizontal angelegte Macula utriculi und die vertikal angelegte Macula sacculi . Hierin befinden sich Sinneszellen für die Wahrnehmung linearer Beschleunigungsreize. Diese Sinneszellen sind aus Stütz- und Haarzellen aufgebaut und tragen an ihrer Oberfläche ca. 60 bis 80 Zilien und ein längeres Kinozilium. Die Zilien wiederum ragen in eine gelatinartige und aus Mukopolysacchariden bestehende Otolithenmembran. An der Oberfläche der Otolithenmembran befinden sich die Otolithen. Dies sind kleine Kalziumkristalle und befinden sich nur bei den Makulaorganen. Die Otolithen üben durch die auf uns einwirkende Schwerkraft einen ständigen Druck auf die darunterliegenden Sinneszellen aus und beeinflussen somit die Ruheaktivität (Abb.3).

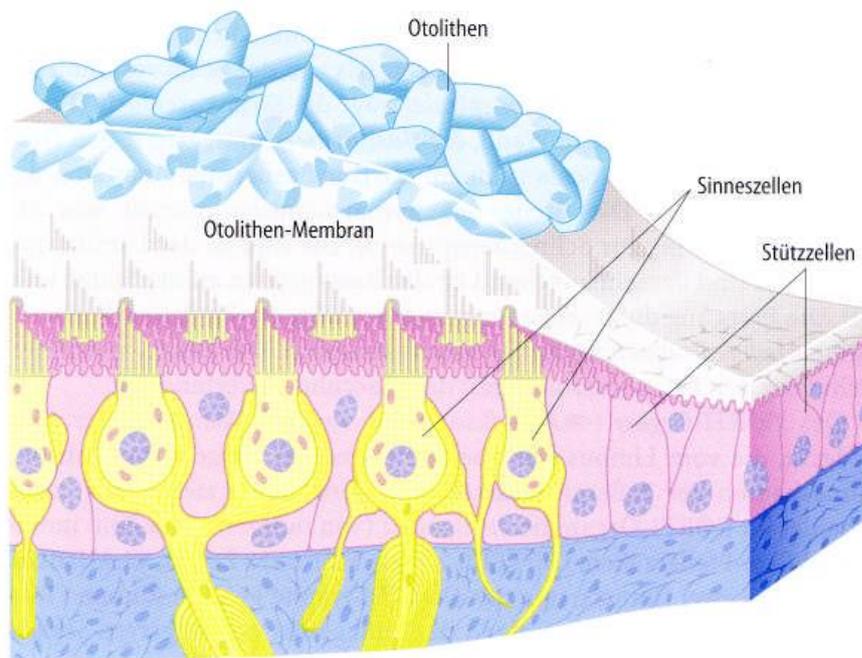


Abb.3: Macula mit Otolithen (aus: Boenninghaus, H.-G., Lenarz, T.: Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde. Springer, 2001, 11.Auflage, S. 28.)

Die drei Bogengangsorgane dienen zur Erfassung von Dreh- und Winkelbeschleunigungen und werden in einen horizontalen, vorderen vertikalen und hinteren vertikalen Bogengang unterteilt. Alle drei Bogengangsorgane besitzen am Ende eine Erweiterung, die Pars ampullaris. Diese Bogengangsrezeptoren bestehen aus der Crista ampullaris, welche wie die Maculae staticae Stütz- und Haarzellen enthält. Die Zilien der Haarzellen bilden hierbei die Kupula und reichen bis an das Dach der jeweiligen Bogengangsampulle (Abb.4).

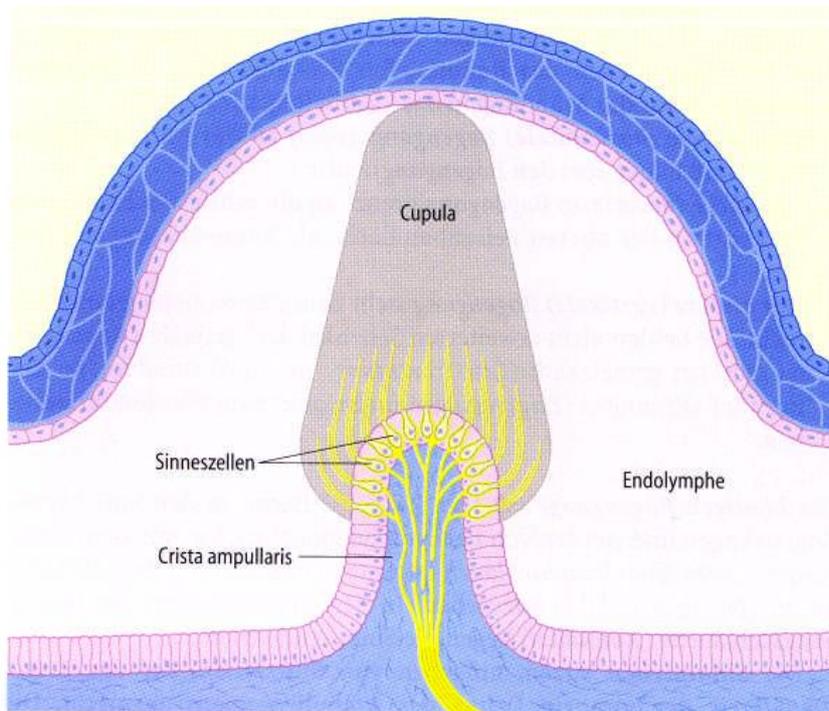


Abb.4: Schnitt durch die Crista ampullaris und Kupula in der Bogengangsampulle (aus: Boenninghaus, H.-G., Lenarz, T.: Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde. Springer, 2001, 11.Auflage, S. 30.)

Sowohl bei den Maculaorganen als auch bei den Bogengangsampullen erfolgt eine ständige Entladung von Aktionspotentialen und somit die Aufrechterhaltung eines Ruhepotentials im Nervus vestibularis. Wie in Abbildung 5 gezeigt, stehen die Zilien der Sinneszellen in der Ruhephase senkrecht. Durch Bewegung und Abscherung der Zilien ändert sich die Ruheaktivität. Bei Auslenkung in Richtung Kinozilium kommt es hierbei zu einer Steigerung der Entladungsfrequenz und Depolarisation. Bei entgegengesetzter Auslenkung kommt es zu einer Entladungshemmung bzw. Hyperpolarisation.

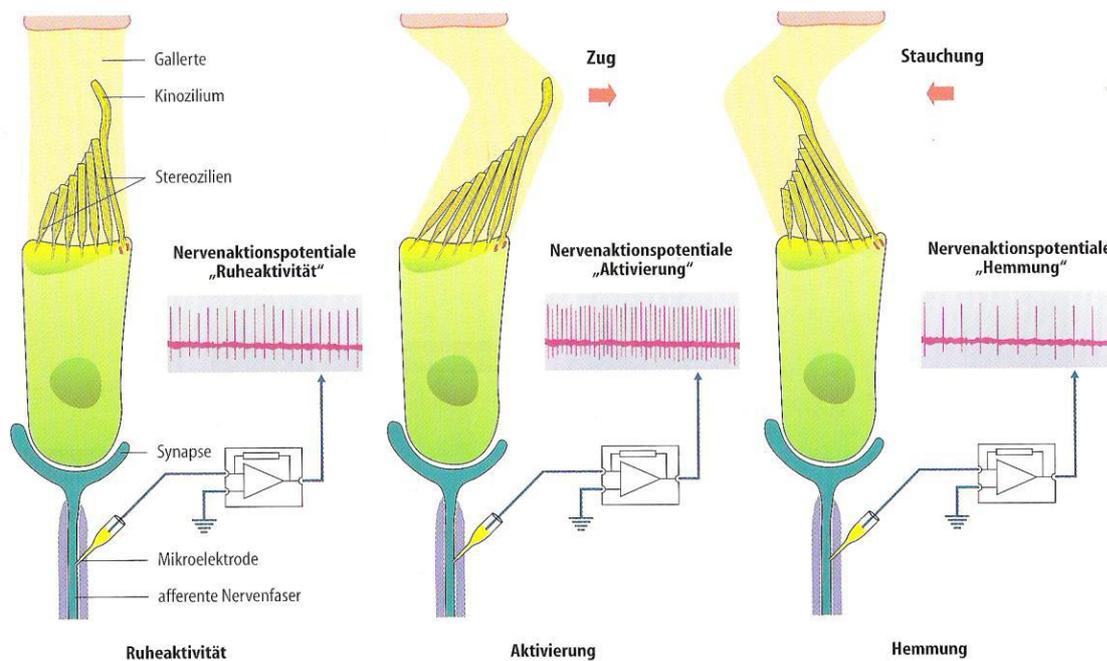


Abb.5: Schematische Darstellung des Verhaltens des Rezeptorpotentials bei Auslenkung der Stereozilien aus: Physiologie Kompakt, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, Seite 112, H. P. Zenner, 1997)

Bei Linearbeschleunigungen werden die Otolithen von Urtikulum und Sacculus gegen ihre Unterlage verschoben und lösen neben anderen Reaktionen den makulookulären Reflex aus. Die entsprechenden Nervenfasern melden den jeweiligen Erregungszustand über den Nervus vestibularis an die vier Vestibulariskerne im Hirnstamm. Hier findet eine erste Informationsverarbeitung statt (Büttner und Büttner – Ennever, 1985). Eine Umschaltung auf die Effektororgane führt zu kompensatorischen Augenbewegungen und somit auch während Linearbeschleunigungen zur optimalen Augenstellung. Über den makulospinalen

Reflex kommt es nach Informationsverarbeitung und entsprechender Weiterleitung an die Rückenmarksvorderhornzellen zu einer Stabilisierung der Spinalmotorik auch während Linearbeschleunigungen. Durch die Weiterleitung zu den kortikalen Projektionsfeldern wird Einfluss auf die bewusste Orientierung genommen.

Durch Dreh- und Winkelbeschleunigungen kommt es zur Endolymphbewegung im entsprechenden Bogengang. Aufgrund der anatomischen Anordnung der Cupula, der stets beidseitigen Reizung des betroffenen Bogengangs und der Stellung zum Utriculus, ist im horizontalen Bogengang eine Auslenkung zum Utriculus (utrikulopetale Stimulation) und eine Auslenkung vom Utriculus weg (utrikulofugale Stimulation) möglich. Somit erfolgt im horizontalen Bogengang bei utrikulopetaler Auslenkung auf der einen Seite eine Depolarisation und auf der gegenüberliegenden Seite eine Hyperpolarisation. Bei den beiden vertikalen Bogengängen ist es umgekehrt. Eine utrikulofugale Auslenkung führt hier zu einer Depolarisation (Abb.6). Die Reizantworten der aktivierten und deaktivierten Nervenfasern werden an das Gehirn weitergeleitet und ermitteln somit die tatsächliche Drehachse (Klinke, 1993).

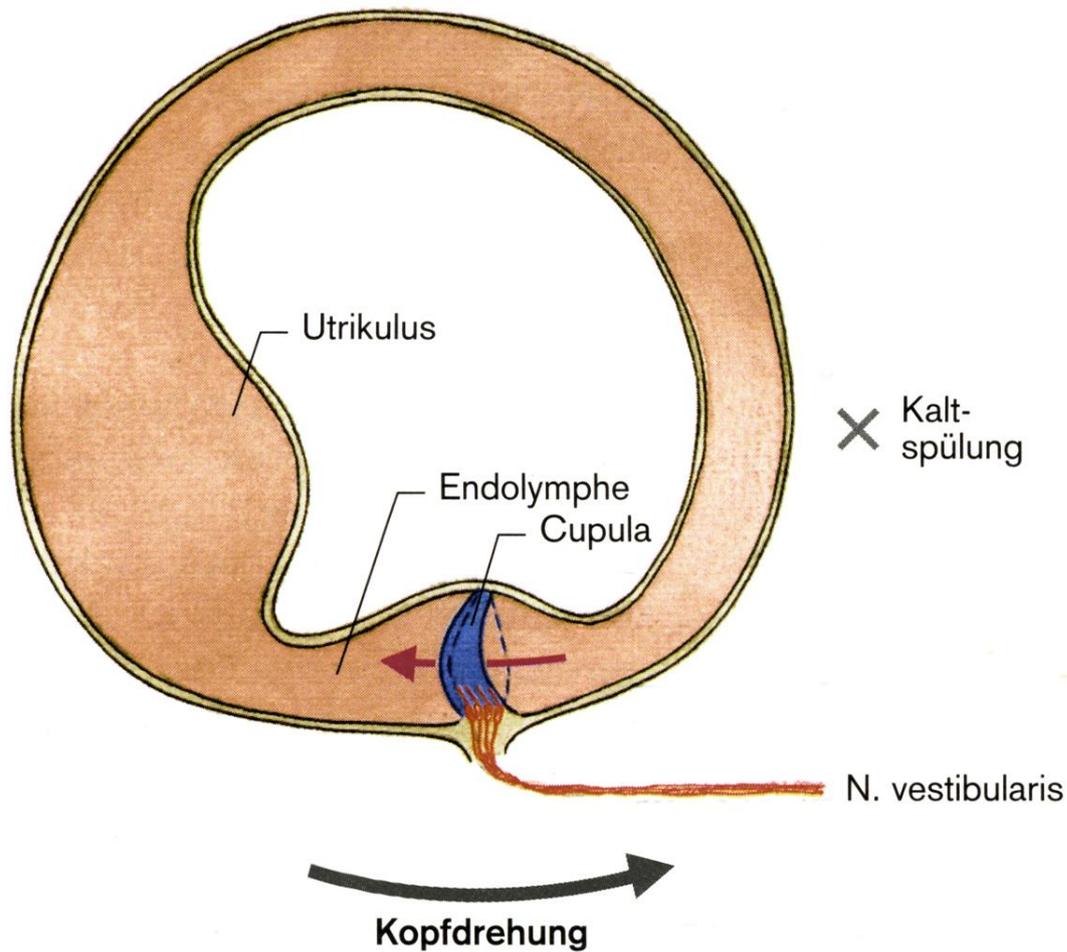


Abb.6: Auslenkung einer Cupula, Lehrbuch der Physiologie, Klinke und Silbernagl, 2. Auflage, 1996, Seite 660, Georg Thieme Verlag Stuttgart – New York

## 1.2. Diagnostik des vestibulären System

### 1.2.1 Untersuchung der räumlichen Orientierung

Grundlage für die Diagnostik des vestibulären Systems ist die sorgfältige Anamneseerhebung (Scherer, 1997). Die von dem Schwindelpatienten subjektiv geschilderten Scheinbewegungen lassen je nach betroffenem Areal die Diagnose erhärten. So machen sich Störungen im Bereich des Bogengangsystems vorwiegend als Drehschwindel bemerkbar. Bei Störungen im Bereich des Utrikulus und Sacculus tritt ein linearer Schwindel mit Liftgefühl, Laterotraktion oder dem Gefühl, im Boden zu versinken auf. Derartige Schwindelformen werden als systematischer Schwindel bezeichnet und finden ihre Ursache im vestibulären

System. Ein Taumeln, Benommenheitsgefühl, Unsicherheit beim Gehen werden dagegen als unsystematischer Schwindel bezeichnet. Die Ursache liegt meist nicht im vestibulären System. Durch Einbeziehung zeitlicher Kriterien der jeweiligen Schwindelbeschwerden lassen sich bestimmte Krankheitsbilder herauskristallisieren. So deutet ein Anfallsschwindel über Minuten und Stunden auf einen Morbus Menière hin, ein Sekundenschwindel auf einen benignen paroxysmalen Lagerungsschwindel und ein Dauerschwindel auf einen Labyrinthausfall (Abb.7).

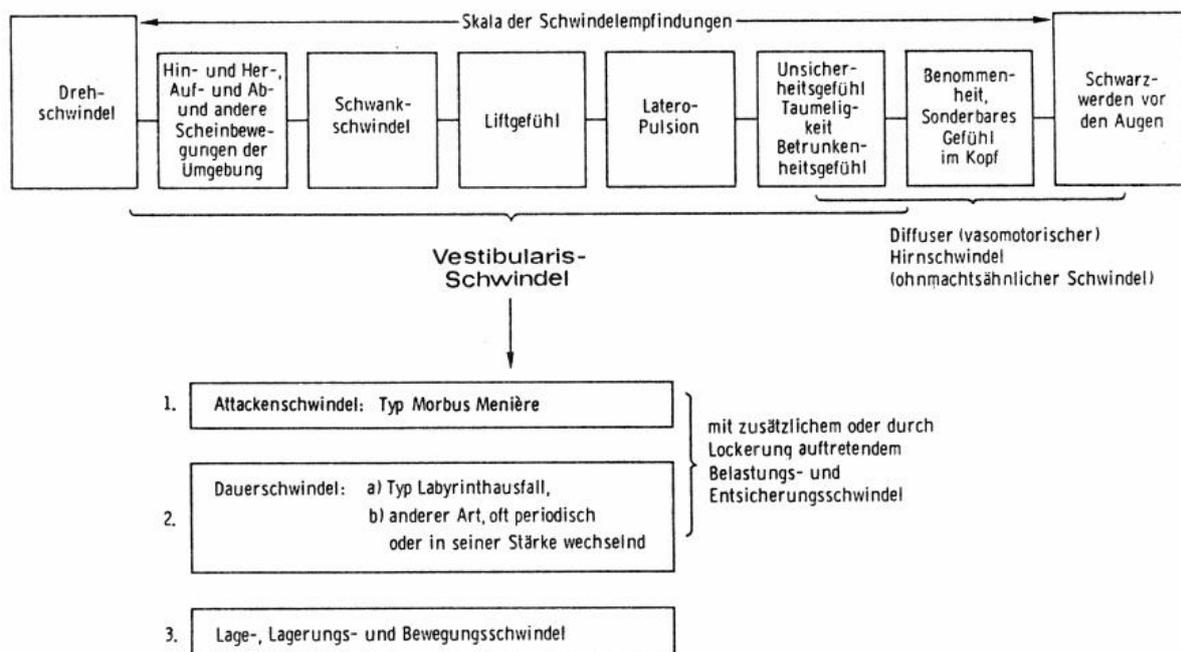


Abb.7: Grundschemata des Vestibularisschwindels (aus: Frenzel, H.; Vestibularisschwindel, „Spontan- und Provokationsnystagmus“. Springer, Berlin-Heidelberg-New York 1982, S.13)

### 1.2.2 Untersuchung der Blickmotorik

Eine konstante gleichseitige Innervation der Augenmuskelkerne führt zu einer stabilen Augenposition in Ruhe. Eine Blickfixation bleibt auch bei Kopfdrehung aufgrund des vestibulookulären Reflexes (VOR) erhalten. Aufgrund der Verschaltungen des vestibulären Systems mit den Augenmuskelkernen (Abb.1) führen einseitige Funktionsdefizite des Vestibularapparates zu asymmetrischen blickmotorischen Reaktionen, die an den Augen als Spontannystagmus abgelesen werden können und als wesentliches Merkmal eines vestibulären Ungleichgewichts zu deuten sind.

Der Spontannystagmus ist durch rhythmische Abläufe von langsamen und schnellen Augenbewegungen gekennzeichnet. Die schnelle Komponente der Augenbewegung gibt hierbei die Richtung des Nystagmus vor. Am häufigsten zeigt sich ein Ausfallnystagmus, der zur intakten Seite schlägt. Als Erholungsnystagmus schlägt er im Intervall zur kranken Seite (Stenger, 1959). Der typische peripher vestibuläre Nystagmus zeigt eine horizontal rotierende Schlagform und kann durch Fixation unterdrückt werden. Im Gegensatz stehen rein horizontal schlagende, vertikal schlagende oder torsional schlagende Nystagmen, die auf eine zentrale Ursache hinweisen und nicht durch Fixation unterdrückt werden können.

Ein latenter Spontannystagmus kann durch Provokationsmaßnahmen wie Kopfschütteln, unspezifische Lageänderungen (Scherer, 1984), rotatorische und kalorische Reizung oder auch durch Reizung mit einem Vibrationsstimulator (Hamann und Schuster, 1999) verstärkt werden.

Bei peripher vestibulärer Ursache entsteht ein richtungsbestimmter Spontannystagmus, der als Reiznystagmus in das erkrankte Ohr oder als Ausfallnystagmus in das gesunde Ohr feststellbar ist. Ein regelloser Spontannystagmus deutet auf zentral-vestibuläre Störung hin.

### **1.2.3 Testverfahren des Vestibularapparates**

Da das intakte vestibuläre System unter normalen Bedingungen immer seitengleich und symmetrisch arbeitet, weisen Abweichungen im Seitenvergleich auf eine Störung hin. Durch klar definierte und reproduzierbare Testverfahren, Kenntnisse der Anatomie und bestimmter Reflexbahnen, lassen sich gezielte und reproduzierbare Aussagen über den Funktionsstand eines Gleichgewichtsorgans treffen.

### 1.2.3.1 Vestibulookulärer Reflex

Der vestibulookuläre Reflex ermöglicht es, das retinale Bild auch bei plötzlicher Kopfbewegung stabil zu halten. Bei jeder Kopfbewegung wird eine korrigierende Augenbewegung in entgegengesetzter Richtung ausgelöst. Dadurch wird der fixierte Gesichtsfeldausschnitt auf der Retina stabilisiert.

An der Augenbewegung sind der Nervus trochlearis, Nervus oculomotorius, Nervus abducens und der Musculus rectus medialis und Musculus rectus lateralis beteiligt (Abb.8).

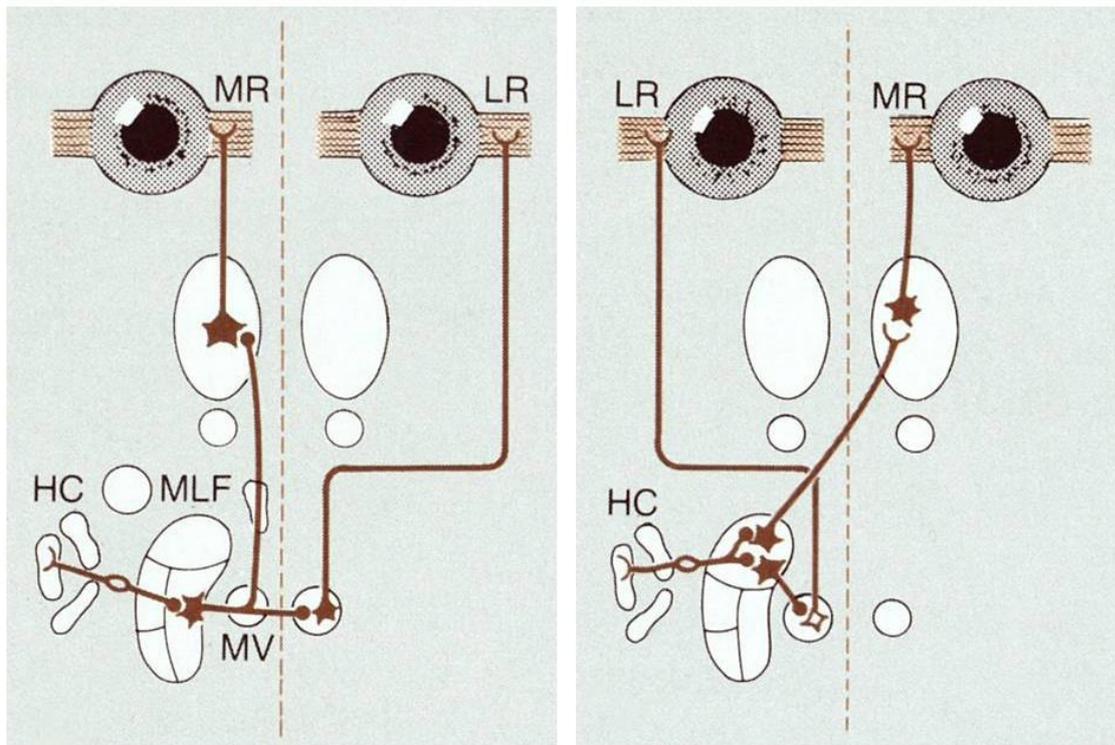


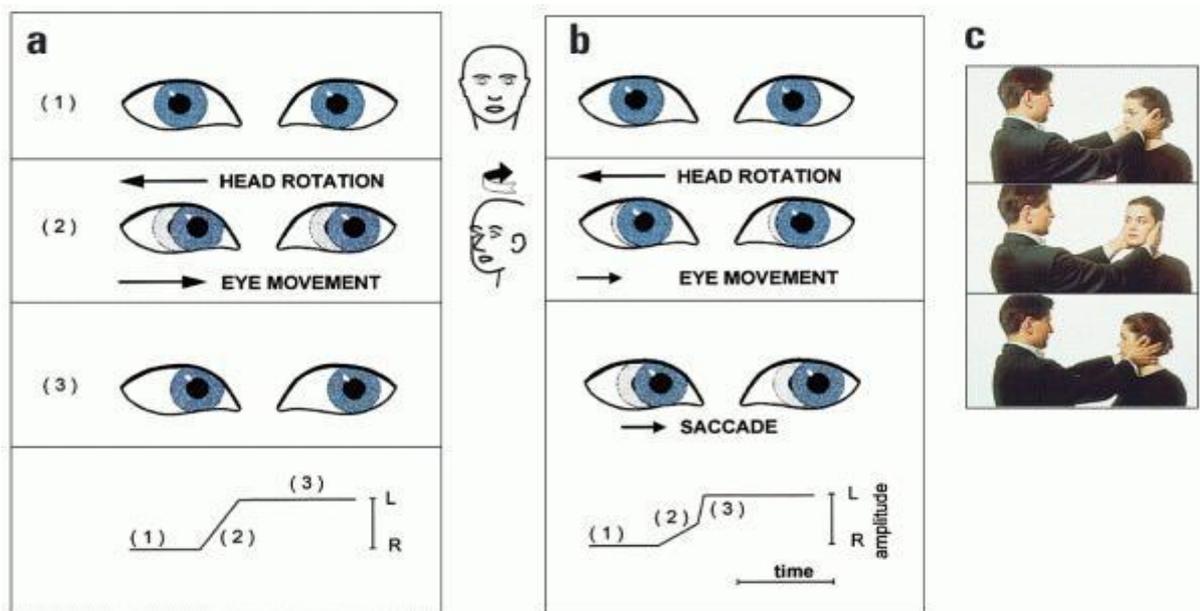
Abb.8: Verbindungen der einzelnen Vestibulariskerne zu den Augenmuskeln und den äußeren Augenmuskeln beim horizontalen VOR

MR= M.rectus medialis; LR= M.rectus lateralis; HC=horizontaler Bogengang;  
MLF= Fasciculus longitudinalis medialis; MV= medialer Vestibulariskern  
(aus: Ito, M.: The Cerebellum and Neural Control. In: Raven Press, New York 1984, S. 36)

„Zitat 1“: Zur Prüfung des horizontalen VOR hält man den Kopf des Patienten zwischen beiden Händen, bittet diesen, ein Ziel zu fixieren und führt schnelle horizontale Kopfbewegungen nach rechts und links durch. Beim Gesunden führen diese Kopfbewegungen zu raschen, entgegengesetzten kompensatorischen Augenbewegungen (die die gleiche Geschwindigkeit haben wie die Kopfbewegung, sodass das Bild auf der Retina stabil bleibt) (Abb.9a). Bei einseitigem

Labyrinthausfall (in [Abb.9b] am Beispiel des Ausfalls des rechten horizontalen Bogengangs erläutert) bewegen sich die Augen bei Kopfrotationen zur betroffenen Seite mit dem Kopf mit. Der Patient muss deshalb eine Sakkade machen, um das Ziel wieder fixieren zu können. Diese Refixationssakkade ist das klinische Zeichen für ein Defizit des vestibulookulären Reflexes (VOR). Auf diese Weise können ein- und beidseitige Störungen des VOR einfach diagnostiziert werden. In (Abb.9c) ist die Untersuchungssituation dargestellt.

Zitat 1: Erklärung der klinischen Untersuchung des horizontalen vestibulookulären Reflexes, Strupp M, Journal für Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie 2010; 11(3): 56



Strupp M Journal für Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie 2010; 11 (3): 54-62 ©

Abb.9a-c: Klinische Untersuchung des horizontalen vestibulookulären Reflexes, Strupp M, Journal für Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie 2010; 11(3): 54-62

Die oben beschriebene Reflexprüfung gilt für den lateralen Bogengang. Eine Prüfung der anderen Bogengänge ist jedoch auch möglich. So kann bei Kopfdrehung in der Sagittalachse mittels des vestibulären Reflexes (VOR) auch eine Prüfung des oberen Bogengangs stattfinden.

### **1.2.3.2 Thermische Prüfung der horizontalen Bogengänge**

Mit Hilfe der thermischen oder kalorischen Prüfung ist eine seitentrennte Beurteilung des horizontalen Bogengangs möglich. Durch das Einbringen von warmen (44 Grad) oder kalten (30 Grad) Wasser in den äußeren Gehörgang für eine bestimmte Zeit gelangt die Innenohrflüssigkeit aufgrund von Thermokonvektion in Bewegung. Durch die Bewegung der Endolymphe werden die Sinneszellen der gespülten Seite ausgelenkt. Je nach Warm- oder Kaltspülung kommt es auf der gespülten Seite zu einer Depolarisation oder Hyperpolarisation und Änderung der Ruheaktivität. Auf der Gegenseite findet keine Änderung des Aktionspotentials statt. Auch beim Gesunden führt dies zur Auslösung eines Nystagmus über den vestibulookulären Reflex. Vom Gehirn wird deshalb die Spülung als eine Drehung wahrgenommen und es kann vorübergehend zu Schwindel kommen. Bei Warmspülung entsteht ein Nystagmus mit schneller Komponente in das gespülte Ohr. Bei Kaltspülung zeigt sich ein Nystagmus zum gegenüberliegenden Ohr (Scherer u. Helling, 2001). Die so ausgelösten Augenbewegungen lassen sich mittels der Frenzelbrille erkennen und mit Hilfe der Elektronystagmographie oder der heutzutage üblichen Videookulographie aufzeichnen.

### **1.2.3.3 Vibrationsinduzierter Nystagmus**

Mit Hilfe des vibrationsinduzierten Nystagmus existiert eine weitere Möglichkeit das vestibuläre System zu überprüfen. Erstmals wurde dieses Phänomen von Lücke 1973 beschrieben. 1999 zeigten Hamann und Schuster einen Zusammenhang zwischen einer Schädigung im vestibulären System und dem Auftreten eines vibrationsinduzierten Nystagmus. Dabei konnte eine hohe Übereinstimmung der Ergebnisse bei der thermischen Prüfung des horizontalen Bogengang und dem vibrationsinduzierten Nystagmus nachgewiesen werden.

### **1.2.3.4 Rotatorischer Nystagmus**

Auch mit Hilfe der rotatorischen Prüfung, bei der beide Bogengangssysteme gereizt werden, lässt sich der Vestibularapparat untersuchen. Für die Durchführung wird ein elektrisch gesteuerter Drehstuhl verwendet. Durch Trägheit der Endolymphe beim Beginn der Drehuntersuchung (perrotatorischer Nystagmus) und durch fortlaufende Bewegung der Endolymphe beim Abstoppen des Drehstuhls (postrotatorischer

Nystagmus) kommt es zur Abscherung der Zilien und Reizung der Sinneszellen in den Bogengängen.

#### **1.2.3.5 Optokinetischer Nystagmus**

Diese Nystagmusform kann man bei Drehung der visuellen Umgebung um den Probanden bzw. Patienten betrachten. Die entstehende Bildunschärfe muss wie beim vestibulookulären Reflex durch eine Korrekturbewegung oder Rückstellbewegung ausgeglichen werden. Die Geschwindigkeit der Korrekturbewegung entspricht der zugrundeliegenden Kopfbewegung. Deshalb kommt es auch beim optokinetischen System zu einer unwillkürlichen reflektorischen Rückstellbewegung (Scherer, 1997).

#### **1.2.3.6 Untersuchung des Utrikulus**

Wie bereits erwähnt, dienen Utrikulus und Sacculus zur Wahrnehmung von Linearbeschleunigungen oder Translationsbeschleunigungen. Durch seine Lage werden am Utrikulus hauptsächlich horizontale Translationsbewegungen und Seitwärtsneigungen des Kopfes wahrgenommen. Dies führt zu kompensatorischen Augenrollungen zur Gegenseite. Beim Gesunden finden sich symmetrische Augenbewegungen. Asymmetrien deuten auf eine Unterfunktion im Utrikulus hin (Diamond et al., 1979).

Durch die Videookulographie ist es möglich geworden, derartige torsionale Augenrollungen um die Sehachse zu registrieren (Hamann, 1998).

Eine weitere Methode zur Untersuchung des Utrikulus ist die Bestimmung der visuellen subjektiven Vertikale. Hierbei wird der Vertikaleindruck des Patienten untersucht. Dem Gesunden gelingt es, eine gerade Leuchtlinie in einem dunklen Raum vertikal einzustellen. Selbst bei Kopfneigung um 90 Grad kommt es beim Gesunden nur zu einer Abweichung der visuellen subjektiven Vertikalen (VSV) von 15 bis 20 Winkelgrad. Bei Patienten mit Störungen im Vestibularapparat kommt es bereits beim aufrechten Sitzen zu deutlichen Abweichungen von der eigentlichen Vertikalen (Friedmann, 1970).

### **1.2.3.7 Untersuchung des Sacculus (VEMP)**

Der Sacculus registriert aufgrund seiner Lage vor allem vertikale Beschleunigungen. Derartige Liftbeschleunigungen sind in der Praxis schwierig durchzuführen.

Colebatch et al. beschrieb 1994 einen vestibulo-kollikulären Reflex, bei dem durch akustische Reizung von 120 dB SPL der Vestibularapparat stimuliert wird, und es zu einer reflektorischen Antwort am Musculus sternocleidomastoideus kommt. Nach den Untersuchungen von Murofushi und Curthoys, 1997, steht fest, dass der Sacculus als auslösender Rezeptor für die vestibulär evozierten myogenen Potentiale anzusehen ist.

### **1.3. Dokumentationsmethoden der Augenbewegungen**

Die Elektronystagmographie stellt die erste Methode zur objektiven Erfassung und Quantifizierung von Augenbewegungen dar. Somit können vergleichbare Untersuchungsergebnisse und reproduzierbare Methoden geschaffen werden. Anhand der Dipoleigenschaften des Auges (Kornea elektropositiv und Retina elektronegativ) und speziell platzierter Elektroden, ist eine Aufzeichnung der Frequenz, der Amplitude und der Geschwindigkeit einer Augenbewegung möglich. Rotierende Augenbewegungen und Torsionen können mit diesem Verfahren nicht registriert werden.

Seit Einführung der Videookulographie können auch mittels einer aufgesetzten Videobrille Augenbewegungen objektiv registriert werden. In der Brille ist eine Kamera integriert, welche sowohl spontane Augenbewegungen als auch alle Augenbewegungen bei kalorischer, rotatorischer oder optokinetischer Reizung aufzeichnet und auswertet. Bei dieser Methode können auch Augenbewegungen um die eigene Achse dokumentiert werden (Clarke und Scherer, 2001).

Die genaueste Methode zur Erfassung von Augenbewegungen geschieht mit Hilfe von Magnetspulen, die über eine Kontaktlinse auf dem Auge platziert werden. Durch Bewegungen der Spule in einem Magnetfeld und Messung von Induktionsströmen sind kleinste Augenbewegungen bis 0,1 Grad Abweichung messbar (Scherer, 1997).

## **1.4 Untersuchung der Spinalmotorik**

Durch vestibulospinale Reflexe nimmt das vestibuläre System an der Stabilisierung des Körpergleichgewichts und der Durchführung von Körperbewegungen teil. Mittels einfacher Tests ist es möglich, Störungen an vestibulären Teilen der Spinalmotorik festzustellen. Mit dem Romberg Stehversuch (Romberg, 1846) und dem Unterberger-Tretversuch (Unterberger, 1938) lassen sich das aufrechte Stehen und forcierte Treten auf einer Stelle überprüfen. Ähnliche Tests sind der sogenannte Blindgang oder das Laufen auf einer gedachten Linie. Eine Abweichung von über 40 Grad von der Ausgangssituation im Unterberger Tretversuch weist auf eine Störung im betroffenen Vestibularorgan hin (Scherer, 1984).

Derartige Gang- und Standabweichungen lassen sich auf einer Posturographieplatte messen. In geringen Maßen treten derartige Abweichungen auch beim Gesunden auf. Bei Patienten mit vestibulären Erkrankungen sind diese Körperschwankungen verstärkt. In Praxis und Klinik hat sich diese Methode wegen der hohen Kosten nicht etabliert.

## **1.5. Definition peripher-vestibulärer Krankheitsbilder**

In dieser Arbeit wurden Patienten mit den Diagnosen Neuritis vestibularis und Morbus Menière eingeschlossen.

### **1.5.1 Neuritis vestibularis**

Die Neuritis vestibularis oder Neuropathia vestibularis ist ein monosymptomatisches Krankheitsbild mit plötzlich auftretendem Drehschwindel mit Decrescendo, der länger als 24 Stunden anhält. Im Akutstadium zeigt sich ein horizontal-rotierender Spontannystagmus. Eine Stand- oder Gangataxie zeigt zur betroffenen Seite. Der Patient klagt über Übelkeit und Brechreiz. Der Drehschwindel ist sowohl in Ruhe als auch bei Bewegung vorhanden. Es lassen sich weder cochleäre noch neurologische Symptome nachweisen. Bei Überprüfung des vestibulookulären Reflexes mittels Kopfpulstest fehlt die kompensatorische Augenbewegung, so dass sich die Augen bei Kopfdrehung zur betroffenen Seite mitbewegen und es zu einer Sakkade kommt, um so das Bild wieder fixieren zu können. Bei der Videookulographie kann der

Spontannystagmus aufgezeichnet werden. In der thermischen Reizung zeigt sich eine Untererregbarkeit oder ein vestibulärer Ausfall des betroffenen horizontalen Bogengangs.

Durch Kompensationsvorgänge im vestibulären System, vor allem auf neuronaler Ebene, kann es zum Ausgleich der Spontanaktivität von gesunder und betroffener Seite und somit zur Spontanheilung (Dieringer, 1995) kommen. Durch ein bestimmtes Habituationstraining lässt sich bereits am Krankenbett und auch später die Heilung beschleunigen.

Als Ursache wird eine Reaktivierung von neurotrophen Viren, vor allem humane Herpesviren angenommen (Arbusow et al, 1999).

### **1.5.2 Morbus Menière**

Der Morbus Menière, das zweithäufigste Krankheitsbild einer überregionalen otologischen Schwindelambulanz (Ritscher, B. 2007), wurde erstmalig 1861 von Prosper Menière beschrieben. Er erkannte einen Zusammenhang von plötzlich auftretendem Drehschwindel, Hörminderung und Tinnitus mit Ursache im Innenohrbereich. In der Akutphase lässt sich ein Spontannystagmus mit wechselnder Richtung nachweisen. Je nach Zeitpunkt der Untersuchung ist dies auch an der Untererregbarkeit oder Übererregbarkeit bei der thermischen Prüfung zu dokumentieren. Im Audiogramm findet sich meist der typische Tieftonhörverlust. Der Hörverlust erholt sich in der Frühphase der Erkrankung oft komplett, kann aber im Laufe der Jahre zu Höreinschränkungen im Tieftonbereich und später im gesamten Frequenzbereich führen. Die Erkrankung beginnt meistens einseitig, kann aber in rund 30% in einen beidseitigen Morbus Menière übergehen.

Die Diagnosestellung erfolgt heutzutage anhand der Einteilung der AAO-HNS von 1995 (Tabelle1).

	<b>Wahrscheinlichkeit</b>	<b>Symptome</b>
1	Bewiesener M. Menière	Histopathologische Bestätigung post mortem
2	Sicherer M. Menière	> = 2 Schwindelanfälle von wenigstens 20 Minuten Dauer Wenigstens einmalig audiometrisch dokumentierter Hörverlust Tinnitus oder Druckgefühl
3	Wahrscheinlicher M. Menière	Einmaliger Schwindel Wenigstens einmalig audiometrisch dokumentierter Hörverlust Tinnitus oder Druckgefühl
4	Möglicher M. Menière	Schwindelepisode ohne Hörverlust Bleibende Innenohrschwerhörigkeit Fluktuierendes Gehör mit Schwindel ohne definierte Anfälle

Tabelle1: Diagnostische Skalierung des M. Menière entsprechend der AAO-HNS, 1995

Hallpike und Cairns, 1938, konnten aufzeigen, dass es aufgrund eines Hydrops der Endolymphflüssigkeit zu der Symptomentrias kommt. Als Ursache für die Entstehung des Endolymphhydrops werden entzündliche Prozesse durch Viren vermutet. Dies führt zu Veränderungen am Saccus endolymphaticus mit Funktionseinschränkung und verminderter Rückresorption der kaliumreichen Endolymph. Durch Störung dieses Ionengleichgewichtes und Erhöhung des osmotischen Druckes, kommt es an der permeablen Membran zwischen

Endolymphe und Perilymphe zu einem Endolymphhydrops. Die Folge ist ein Einreißen der Reisner'schen Membran mit Vermischung von kaliumreicher Endolymphe und kaliumarmer Perilymphe. Dieses Ereignis führt zur Reizung und Depolarisation im Innenohr und beschreibt den Menière'schen Anfall (Hamann und Arnold, 1998).

Eine tatsächliche Heilung gibt es bisher nicht. Mittels Therapie mit hochdosierten Steroiden versucht man im Akutstadium Einfluss auf den Hörverlust zu nehmen. Als Prophylaxe dienen Betahistin und Diuretika.

Meistens kommt es zu einem Sistieren der Erkrankung nach mehreren Tieftonhörstürzen. Frühere Untersuchungen zeigten, dass dies spontan bei bis zu 80% möglich ist (Friedberg et al. 1984). Als Ursache wird eine dauerhafte Durchtrennung der Reisner'schen Membran angesehen.

## **1.6 Vergleich von thermischer Reizung, Kopfpulstest und vibrationsinduziertem Nystagmus**

### **1.6.1 Thermische Reizung**

Die erstmals von Bárány 1905 beschriebene thermische Prüfung der Bogengänge ist auch heute noch die einzige Methode zur seitengetrenten klinischen Gleichgewichtsprüfung. In fast jeder Hals-Nasen-Ohrenarztpraxis und in HNO-Klinken gehört diese Messung zum Alltag. Die Gehörgänge werden mit warmen und kalten Wasser gespült und erzeugen somit einen vestibulären Reiz. Grundlage der Spülung ist die von Bárány aufgestellte Theorie, dass es bei einer Temperaturänderung am Bogengang und einer damit verbundenen Dichteänderung der Endolymphe unter dem Einfluß der Schwerkraft zu einer Strömung in den Bogengängen und Auslenkung der Cupula kommt.

Mittels Spülung werden somit über den vestibulookulären Reflex die Nystagmen sichtbar. Diese Methode ist sehr aufwändig, da üblicherweise nach einer ca. 30-sekundigen Spülung des rechten Gehörgangs eine mindestens 7-minütige Pause eingelegt werden muss. Anschließend erfolgt die Warmspülung links. Nach einer erneuten Pause werden beide Gehörgänge in identischer Weise mit kaltem Wasser

gespült. Die Pausen müssen eingehalten werden, damit die vestibuläre Reaktion vor der Folgeuntersuchung der Gegenseite vollständig abgeklungen ist (Scherer, 1984). Die Nystagmen werden mit Hilfe der Elektronystagmographie oder seit ca. 20 Jahren mittels Videookulographie direkt aufgezeichnet. Anhand der aufgezeichneten Kurven ist für den Untersucher das Ergebnis auswertbar aber auch nachvollziehbar. Der wesentliche Nachteil dieser Untersuchung ist der Zeitaufwand. Der Arzt oder meistens eine speziell geschulte medizinische Hilfskraft führen diese ca. 30-minütige Untersuchung durch. Dabei ist darauf zu achten, dass der Wasserstrahl das Trommelfell nicht verletzt, aber trotzdem während der gesamten Spülung das Trommelfell umspült. Der Kopf muss sich dabei in 60 Grad Rückenlage befinden, um den horizontalen Bogengang senkrecht zu stellen. Aufgrund eines notwendigen Wasseranschlusses bedarf es meistens eines speziellen Raumes, der auch während der Untersuchung nicht anderweitig genutzt werden kann. Jährliche Wartungsarbeiten verursachen weitere Kosten. Die Untersuchung ist für den Patienten äußerst unangenehm. Übelkeit bis zum Erbrechen kann auftreten.

### **1.6.2 Kopfimpulstest**

Die Nervenbahn des vestibulookulären Reflexes wurde erstmal 1933 von Lorente de Nó beschrieben und ist durch seinen Verlauf über den Nervus vestibularis, der Umschaltung im Nucleus vestibularis und anschließender Weiterleitung über den Nervus oculomotorius ein reiner Hirnstammreflex.

Wenn die thermische Spülung auf der Grundlage des vestibulookulären Reflexes beruht, ist natürlich zu überlegen, ob man sich den technischen und zeitlichen Aufwand sparen kann und eine vestibuläre Störung im Bereich des horizontalen Bogengangs nicht einfacher diagnostizieren kann.

Schon zu Bárány's Zeiten konnten Untersuchungen belegen, dass unser Gleichgewichtsorgan die Fähigkeit hat, bei Kopfbewegungen kompensatorische Augenbewegungen durchzuführen, um so das Blickfeld zu stabilisieren. Lorente de Nó, 1933 und Szentágothai 1950, konnten bestätigen, dass dieser Reflexbogen existiert und als vestibulookulärer Reflex (VOR) bezeichnet wird. 1988 gelang es Halmagyi und Curthoys, diesen Reflexbogen mittels eines einfachen Tests in der

alltäglichen Untersuchung zu etablieren. Der sogenannte Kopfpulstest oder Head-Impuls-Test (HIT) oder Halmagyi-Curthoys-Test wird auch als „Bedside“ Test bezeichnet, weil er sehr schnell und einfach ohne technische Geräte durchzuführen ist.

Hierbei sitzt der Patient dem Untersucher gegenüber und hat die Instruktion, die Nasenspitze des Untersuchers zu fixieren. Der Untersucher fasst den Kopf des Probanden mit beiden Händen und dreht ihn ruckartig zur linken und rechten Seite und beobachtet dabei die Augen des Patienten.

Bei intaktem Reflexbogen gelingt es, die Augen ohne Unterbrechung auf der Nasenspitze zu fixieren. Bei ausgefallenem Reflex folgen die Augen zunächst der Kopfbewegung, um dann mit einer Rückstellsakkade das Blickziel wieder aufzunehmen. Für die Auslösung des Reflexes ist die Schnelligkeit der Kopfbewegung der entscheidende Faktor. Der Auslenkungsgrad spielt dabei keine Rolle.

Wie unter Punkt 1.3 beschrieben, stehen zur Dokumentation von feinen Augenbewegungen bis 0,1 Grad kleine Magnetspulen zur Verfügung, die mittels einer Kontaktlinse aufs Auge gesetzt werden. Mit diesen Magnetspulen ist es möglich, den Kopfpulstest quantitativ zu messen. Da es technisch sehr aufwändig ist und der Patient das Aufsetzen auf die Augen schlecht duldet, hat sich diese Methode im klinischen Alltag nicht durchgesetzt. Im klinischen Alltag wird derzeit die konventionelle Videookulographie mittels lichtausschließender Maske (Abb.10) verwendet.

Durch die Einführung einer ultraleichten Videobrille (Schneider, 2009), gekoppelt an eine Hochgeschwindigkeitsvideokamera, können die schnellen Augenbewegungen beim Kopfpulstest inzwischen sehr genau aufgezeichnet werden. Die erzielten Ergebnisse und die Genauigkeit dieser Videobrillen entsprechen den Befunden, die mittels der aufwändigen Scleral Search Coil Technik erzielt werden. Diese Methode wurde erstmals 1963 von Robinson beschrieben. Über eine Kontaktlinse wird dem Patienten oder Probanden eine kleine Magnetspule auf den Bulbus gesetzt. Der Patient sitzt in einem elektromagnetischen Feld. Durch Messung von

Induktionsströmen und Bewegungen der Magnetspulen in diesem elektromagnetischen Feld lassen sich Augenbewegungen bis 0,1 Grad ableiten (Scherer, 1997).

### **1.6.3. Vibrationsinduzierter Nystagmus**

1973 beschrieb erstmals Lücke das Auftreten von Schwindelereignissen bei Patienten, die einen Elektrorasierer verwendeten. Bei genaueren Untersuchungen ließ sich ein Nystagmus beobachten, welcher eine vestibuläre Störung widerspiegelte. Durch Vibrationsreize konnte bei diesen Patienten ein Nystagmus ausgelöst werden. In einer Studie von Hamann und Schuster, 1999, konnte gezeigt werden, dass bei 90% aller Patienten mit einer einseitigen vestibulären Störung ein vibrationsinduzierter Nystagmus auftrat. Zur Auslösung eines vibrationsinduzierten Nystagmus eignet sich am besten die Platzierung des Vibrators über dem Mastoidknochen. Die optimale Frequenz liegt hierbei bei 60 Hz (Hamann, 1995). In mehreren Arbeiten konnte eine Korrelation zwischen dem vibrationsinduzierten Nystagmus und der Reizung des horizontalen Bogengangs bestätigt werden.

## **1.7. Fragestellung**

Die vorliegende Arbeit möchte folgende Fragen beantworten.

1. Wertigkeit der unterschiedlichen Untersuchungsverfahren bei den zwei untersuchten Krankheitsbildern.
2. Klinische Bedeutung von HIT und VIN
3. Ist die thermische Vestibularisprüfung durch eine Kombination von Vibrationsreizung und Kopfimpulstest, aufgezeichnet mit einer Hochfrequenzvideobrille, ersetzbar?

## **2. Methodik**

### **2.1. Registrierung der Augenbewegungen**

#### **2.1.1 Registrierung der Augenbewegungen mittels Videookulographie (VOG-Brille)**

##### **2.1.1.1 Apparativer Aufbau**

Für die videookulographische Aufzeichnung der schnellen und langsamen Augenbewegungen wurde eine lichtausschließende Brille wie in Abbildung 10 verwendet. In der Brille ist eine Videokamera eingebaut, über welche die Pupillenhelligkeit reguliert wird. Die Daten werden über ein Kabel an den Monitor des VOG-Computers weitergeleitet und dort für den Untersucher sichtbar gemacht (Abb.11). Es können Augenbewegungen in horizontaler und vertikaler Richtung registriert werden. Diese Augenbewegungen werden vom VOG-Computer ausgewertet und in Tabellen und Diagrammen dargestellt. Das Ergebnis wird gespeichert und kann anschließend ausgedruckt werden. In diesem Fall wurde das System der Firma Hörniß und Zeisberg mit der Software 2D-VOG-Videookulographie TM Version 3.02 verwendet. Mit der Brille und dem VOG-Gerät wurden bei allen Patienten die spontanen Augenbewegungen der vibrationsinduzierten und thermisch induzierten Nystagmen aufgezeichnet.



Abb.10 : Lichtausschließende Maske zur Registrierung von Augenbewegungen mit umsteckbarer Videokamera vor dem linken Auge (Originalphoto)

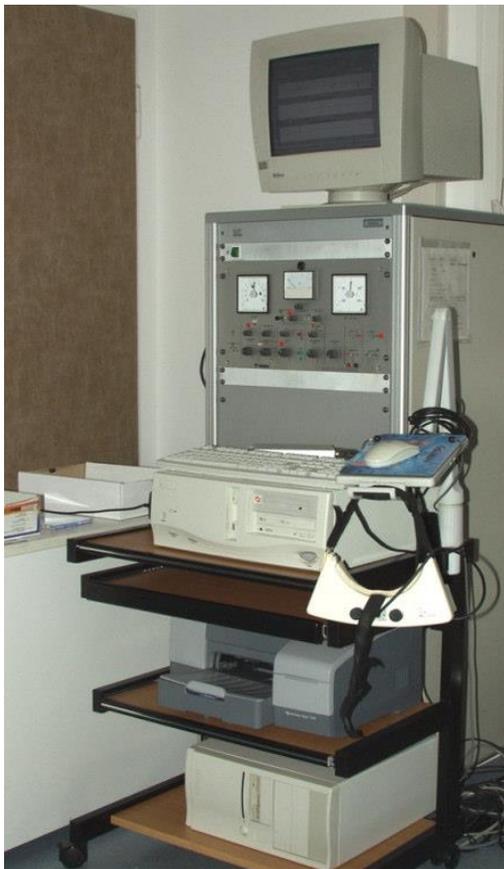


Abb.11: Videookulographiegerät mit Drehstuhlsteuerungsanlage Fa.Toennies (Originalphoto)

### **2.1.1.2 Registrierung der spontanen Augenbewegungen**

Die primäre Beurteilung erfolgte mit der Frenzelbrille. Bei Vorliegen eines Spontannystagmus wurde anschließend eine visuelle Analyse mit der lichtausschließenden VOG-Videoinfrarotkamera (Abb.10) und dem Videokulographiergerät der Firma Toennies (Abb.11) durchgeführt. Die Frequenz des Spontannystagmus (n/sec) wird durch Auszählung der Nystagmen in einem definierten Zeitintervall bestimmt. Clarke und Scherer beschrieben 2001 diese Methode ausführlich. Hierdurch ist es möglich, die entsprechenden Augendeformationen aufzuzeichnen und auszuwerten.

### **2.1.2 Registrierung der Augenbewegungen mittels hochfrequenter Videokopfpulsbrille (HIT-Brille)**

Die Registrierung der Augenbewegungen während der Durchführung des Kopfpulstestes wurde mit einer ultraleichten Videobrille der Firma „EyeSeeCam“, entwickelt unter der Leitung von Prof. Erich Schneider, Institut für klinische Neurowissenschaften, Ludwig-Maximilians-Universität München, durchgeführt. In der Brille sind neben winzigen Beschleunigungssensoren zwei Digitalkameras integriert, die über zwei semitransluzente Spiegel die Augenbewegungen auf einen Computer oder Laptop übertragen und nach Echtzeitdatenanalyse von 4 ms an einem Monitor sichtbar machen. So können während des Kopfpulstestes Augenbewegungen in horizontaler und vertikaler Auslenkung registriert werden. Mit dieser Brille werden Bildraten von bis zu 600 Hz und Winkelgradabweichungen von 0,01 Grad dokumentiert. Die eigentlichen Kopfbewegungen werden über ein Gyroskop registriert und gemeinsam mit den Augenbewegungen in einem Diagramm dargestellt.



Abb.12: Brille der Firma „EyeSeeCam“ für hochfrequente Videookulographie (Originalphoto der Firma „EyeSeeCam“)

Ziel ist es, die nicht nur beim klinischen Kopfimpulstest sichtbaren Rückstellsakkaden, die sogenannten „Overt-saccades“ zu dokumentieren sondern auch die sogenannten verdeckten Sakkaden „Covert-saccades“ aufzuzeichnen.

## **2.2 Thermische Prüfung**

### **2.2.1 Apparativer Aufbau**

Die Ohrspülung erfolgte mittels 44 Grad warmen Wasser über eine Spritze mit Plastikkanüle.

Zur Registrierung des thermisch induzierten Nystagmus wurde die lichtausschließende VOG-Videobrille (Abb.10) und das Videookulographiegerät der Firma Hörniß und Zeisberg (Abb.11) verwendet.

### **2.2.2 Untersuchungsablauf**

Alle Patienten wurden vor thermischer Prüfung auf Intaktheit des Trommelfels otoskopisch oder mit dem Mikroskop untersucht. Cerumen wurde gegebenenfalls entfernt. Anschließend setzten sich die Patienten in einen kippbaren Stuhl, der um 60 Grad nach hinten gekippt wurde, um so den horizontalen Bogengang senkrecht zu stellen. Nach Aufsetzen der VOG-Brille wurde über den Monitor und die

Videokamera in der Brille die Pupillenhelligkeit eingestellt. Da keine dissoziierten Augenbewegungen bestanden, spielt es keine Rolle, vor welchem Auge sich die integrierte Videokamera befindet und welches Auge abgeleitet wird. Anschließend wurde zuerst der rechte Gehörgang mit 44 Grad warmen Wasser für 30 Sekunden gespült (Abb.13). Dabei wurde eine Nierenschale so unter das Ohr gehalten, dass das Wasser aufgefangen wird. Nach 10 Sekunden erfolgt die Aufzeichnung der Augenbewegungen. Nach der Ohrspülung rechts wurde 7 Minute gewartet bevor die linke Seite in identischer Weise gespült wurde.



Abb. 13: Durchführung einer thermischen Prüfung mit Videobrille und Ohrspülgerät (Originalphoto Prof. Hamann)

### **2.2.3 Auswertungen**

Alle Ergebnisse werden im Seitenvergleich bewertet. Entscheidende Messparameter sind die Geschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase sowie die Gesamtzahl aller Nystagmen. Die Angaben erfolgen in Winkelgrad pro Sekunde. Eine Seitendifferenz von 20% gilt dabei als pathologisch, wenn die Geschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase auf der betroffenen Seite kleiner als auf der gesunden Seite ist.

## 2.3 Vibrationsinduzierter Nystagmus

### 2.3.1 Apparativer Aufbau

Für die Untersuchung des vibrationsinduzierten Nystagmus wurde der Vibrationsstimulator „Provonyst“<sup>R</sup> der Firma Ginder verwendet. Die Fläche des Vibrators beträgt 1,44 Quadratcentimeter und ermöglicht die Einstellung von Frequenzen von 40Hz bis 70 Hz (Abb.14).



Abb.14: Vibrationsstimulator „Provonyst“<sup>R</sup> (Originalphoto)

### 2.3.2 Untersuchungsablauf

Nach klinischer Untersuchung auf einen vibrationsinduzierten Nystagmus unter der Frenzelbrille erfolgte anschließend die videookulographische Analyse mit der lichts ausschließenden VOG-Videobrille (Abb.10).

Begonnen wurde mit der Registrierung des Spontannystagmus für 20 Sekunden. Anschließend wurde der Vibrationsstimulator auf das rechte Mastoid aufgesetzt, wie in Abb.15 ersichtlich. Es wurde mit der Frequenz von 40 Hz für 20 Sekunden gemessen. Nach weiteren 20 Sekunden Pause wurde auf der linken Seite identisch gemessen. Während der Messung sollte der Patient so wenig wie möglich mit den Augen zwinkern, um Artefakte zu vermeiden. Die ganze Untersuchung dauerte 80 Sekunden.



Abb. 15: Untersuchungsablauf zur Registrierung eines VIN (Originalphoto)

### **2.3.3 Auswertung**

Ein vibrationsinduzierter Nystagmus wurde immer als positiv gewertet, wenn es unter Reizung mit dem Vibrator zu horizontalen Augenbewegungen unter der VOG-Brille kam. Hierbei wurden die vibrationsinduzierten Augenbewegungen bei nicht vorhandenem Spontannystagmus als positives Ergebnis registriert. Kam es jedoch auch bei vorhandenem Spontannystagmus zu einer erkennbaren Veränderung in Form einer Frequenzbeschleunigung, so wurde dies ebenfalls als positiv gewertet.

## **2.4. Videokopfimpulsbrille (HIT-Brille)**

### **2.4.1 Apparativer Aufbau**

Für die Untersuchungen wurde ein Video-Okulographie-System der Firma EyeSeeCam mit einer sehr eng anliegenden Augenmaske mit einem zentralen Kalibrierungslaser und einer Kamera über dem rechten Auge verwendet (Abb. 16). Bei Verwendung dieses monokulärem System vermeidet man Abweichungen zwischen beiden Augen, die bei Beurteilung des Gain bis zu 15 % betragen können und somit eher einem Wert von 0,8 entsprechen würden. Zusätzlich zur Videobrille verfügt das System über einen Apple Laptop mit dem Betriebssystem Linux. Diese Kombination ermöglicht den Einsatz einer IEEE-1394

Schnittstelle, auch Firewire oder i.Link genannt. Mit dieser Technik ist es möglich, die Videodaten der EyeSeeCam direkt an den Computer zu übertragen und graphisch darzustellen. Dieses mobile System ist so konstruiert, dass es auch am Patientenbett angewendet werden kann.

#### 2.4.2 Untersuchungsablauf

Der optimale Sitz der HIT-Brille ist bei jeder Untersuchung entscheidend. Die Brille muss fest auf dem Kopf sitzen und darf von Anfang an nicht verrutschen. Dabei sollte die Brille so fest aufgesetzt werden, dass sie sich nur gering durch Hautverschiebungen bewegen lässt. Der Patient wird gebeten, die Augen beim Aufsetzen der Brille weit geöffnet zu halten und das Zwinkern während der gesamten Untersuchung zu vermeiden. Kosmetika und Schminke wurden vor der Untersuchung entfernt. Die Brille muss symmetrisch sitzen.



Abb.16: Originalphoto der Firma EyeSeeCam

Der Patient sitzt anschließend auf einem Stuhl in 1,5 Meter Entfernung zu einer weißen Leinwand. Der zentrale auf der Nase befindliche Kalibrierungslaser projiziert 5 rote Lichtpunkte an die weiße Leinwand. Vier Lichtpunkte geben ein Quadrat. Der fünfte Lichtpunkt befindet sich zentral in der Mitte des Quadrates.

Zur Kalibrierung wird der Patient gebeten, die 5 Lichtpunkte in willkürlicher Reihenfolge mit den Augen abzufahren und dabei jeweils für einige Sekunde den jeweiligen Lichtpunkt mit den Augen zu fixieren. Der Kopf muss hierbei ruhig gehalten werden. Nach 20 Sekunden ist die Kalibrierung abgeschlossen.

Anschließend fixiert der Patient einen festen Punkt auf der Leinwand. In unserem Versuchsaufbau war es eine Messingkugel, die an einem dünnen Faden befestigt war und unmittelbar vor der Leinwand in 1,5 m Abstand zum Patienten in Augenhöhe hing. Der Patient hat zur Durchführung des Kopfpulstestes auf einen quer liegenden hölzernen Einmal-Mundspatel fest mit seinen Backenzähnen gebissen. Der Untersucher stand direkt hinter dem Patienten und hat den Mundspatel mit beiden Händen festgehalten. Rechte Hand am rechten Ende und linke Hand am linken Ende. Anschließend hat der Untersucher somit durch ruckartige Drehbewegungen den Kopf des Patienten abwechselnd 10 mal nach links und rechts gedreht. Während dieser Zeit musste der Patient die Messingkugel stets fixieren und das Zwinkern möglichst unterdrücken. Die identische Untersuchung wurde nach einer kurzen Pause zur Kontrolle erneut durchgeführt.

### **2.4.3 Auswertung**

Mittels aufgesetzter HIT-Brille und entsprechender Software lassen sich nun gleichzeitig Augenbewegungen und Kopfbewegungen registrieren. Die Augen- und Kopfgeschwindigkeiten werden innerhalb von Millisekunden analysiert und wie in den folgenden Graphiken gezeigt dargestellt.

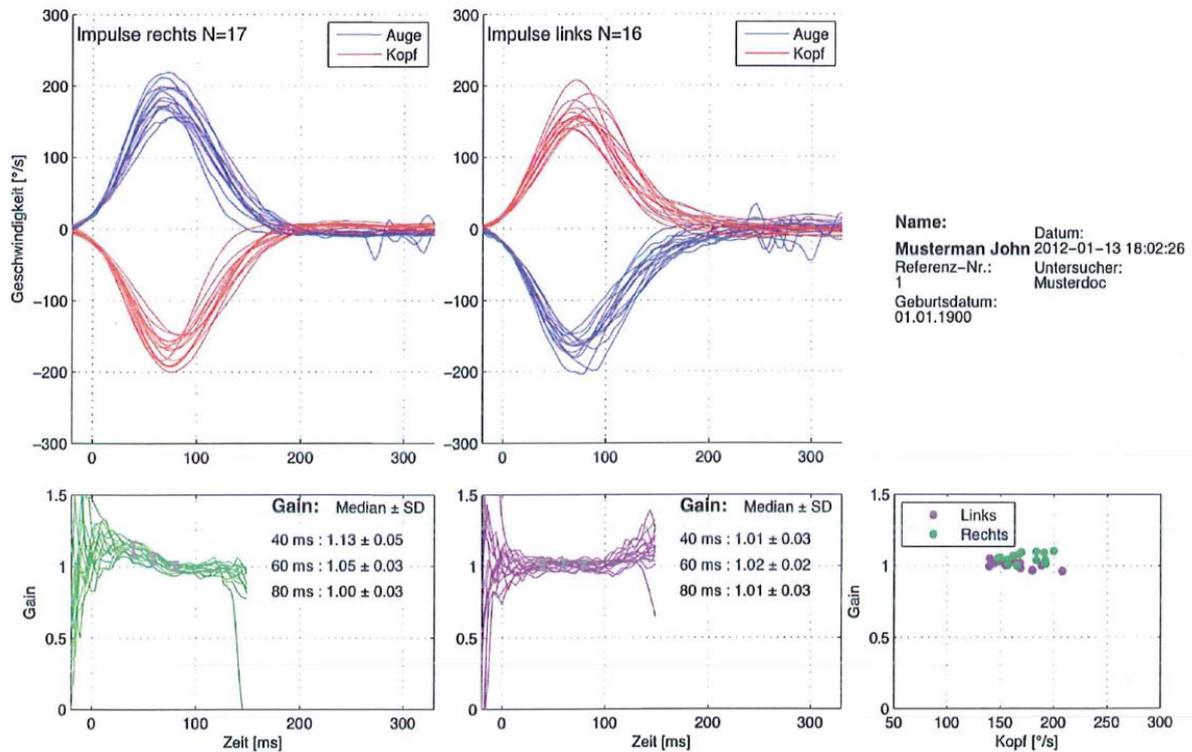


Abb. 17: Normalbefund einer graphischen Darstellung mittels HIT-Brille, Originalphoto: Zur Verfügung gestellt von Prof. E. Schneider, Institut für klinische Neurowissenschaft, Ludwig-Maximilians-Universität München, 2012

Bei der graphischen Darstellung ist im oberen Teil deutlich zu erkennen, dass Augen- und Kopfbewegung auf beiden Seiten den gleichen, aber asymmetrischen Verlauf aufzeigen. Der Verstärkungsfaktor (Gain) spiegelt das Verhältnis von Kopfgeschwindigkeit zu Augendrehgeschwindigkeit wider und wird im unteren Teil des Bildes dargestellt. Er ist auf beiden Seiten 1 und entspricht somit einem Normalbefund. Der Gain ist dimensionslos.

**Gain:** **Geschwindigkeit der Augenbewegungen**  
**Geschwindigkeit Kopfbewegung**

Die Winkelgeschwindigkeit der Kopfbewegung sollte optimalerweise zwischen 150 und 200 Grad/Sekunde betragen. Die Auslenkung des Kopfes nach rechts und links sollte bei ca. 15 Grad liegen.



Derartige sichtbare Rückstellsakkaden werden wie bereits erwähnt als Overt - und Covert - Sakkaden bezeichnet. Zusätzlich sieht man auf der rechten Seite sogenannte Catchup - Overt - Sakkaden, die nach Beendigung der Augen- und Kopfbewegungen auftreten.

## **2.5 Untersuchungskollektiv**

### **2.5.1 Kontrollgruppe**

Alle 10 Probanden der Kontrollgruppe waren anamnestisch und klinisch bezüglich Schwindelbeschwerden und Kopfschmerzen gesund. Vor der Untersuchung wurden die Ohren otoskopisch oder mikroskopisch auf Cerumen untersucht. Bei den 7 weiblichen Probanden wurde jegliche Schminke im Gesicht entfernt. Keiner der Patienten hat zentral dämpfende Medikamente eingenommen. Das Durchschnittsalter lag bei 32 Jahren. Der jüngste Proband war 17 Jahre und der Älteste 62 Jahre. Alle gesunden Probanden wurden im Oktober und November 2011 in der Gaertnerklinik in München untersucht.

### **2.5.2 Patientenkollektiv**

Das Patientenkollektiv dieser Arbeit setzt sich aus 60 Patienten mit Neuritis vestibularis und 60 Patienten mit Morbus Menière zusammen.

Bezüglich der Diagnose Neuritis vestibularis wurden nur Patienten mit der typischen Anamnese, der plötzlich auftretenden Schwindelbeschwerden sowie einer Schwindeldauer von mehreren Tagen eingeschlossen. In der thermischen Spülung muss eine einseitige Unterfunktion nachweisbar sein.

Zusätzlich wurden zwei Ausnahmefälle eingeschlossen, die einen eindeutigen Spontannystagmus, vibrationsinduzierten Nystagmus und positiven V- HIT aufwiesen.

Die thermische Reizung war hierbei die fragwürdige Untersuchung.

Die Diagnose Morbus Menière wurde nur bei Vorliegen eines Hörverlustes im Tieftonbereich mit den typischen zusätzlichen Beschwerden wie Schwindel, Tinnitus und Druckgefühl gestellt. Das Audiogramm war hierbei jedoch die entscheidende Methode zur Diagnosesicherung entsprechend dem Vorschlag der AAO-HNS.

Von den 60 Neuritis vestibularis Patienten waren 30 weiblich und 30 männlich. Der jüngste Patient war 30 Jahre alt, der älteste 78 Jahre. Das Durchschnittsalter betrug 55 Jahre. Die Untersuchungen der Patienten fanden zwischen November 2010 und Dezember 2011 in der Gaertnerklinik München statt.

Von den 60 Morbus Menière Patienten waren 27 weiblich und 33 männlich. Der jüngste Patient war 24 Jahre alt, der älteste 84 Jahre. Das Durchschnittsalter betrug 57 Jahre. Die Untersuchungen der Patienten fanden zwischen November 2010 und Dezember 2011 in der Gaertnerklinik München statt.

Jeder Patient wurde anhand einheitlicher Kriterien dokumentiert und durchnummeriert. Alle Patienten erhielten dieselben Untersuchungen. Die jeweiligen Ergebnisse wurden in einer Tabelle zusammengefasst.

## **2.6 Statistische Bearbeitung**

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte anhand der Reliabilität, der errechneten Spezifität für die gesunden Probanden, anhand der Sensitivität für jedes Krankheitsbild und einer beschreibenden statistischen Beurteilung in Prozent. Die erhobenen Daten wurden zuvor nach „ja/nein“ Kriterien ausgewertet. Die Ergebnisse wurden anschließend für die jeweilige Diagnose in einer Tabelle gesammelt und graphisch in Säulendiagrammen dargestellt.

Die Festlegung der statistischen Methode und Betreuung während der Erstellung dieser Arbeit erfolgte unter Beratung von Frau Dipl.-Stat. Petra Wolf und Herrn Prof. Dr. K. Ulm vom Institut für Medizinische Statistik und Epidemiologie der Technischen Universität München.

## **3. Ergebnisse**

### **3.1 Kontrollgruppe**

#### **3.1.1 Thermische Reizung**

Von den zehn gesunden Versuchspersonen zeigten 7 eine seitengleiche Antwort bei der thermischen Reizung der horizontalen Bogengänge (Abb. 19). Drei dieser Probanden zeigten eine einseitige Untererregbarkeit.

#### **3.1.2 Vibrationsinduzierter Nystagmus (VIN)**

Alle gesunden Versuchspersonen (n=10) wiesen beidseits keinen vibrationsinduzierten Nystagmus (VIN) auf (Abb. 20).

#### **3.1.3 Vestibulookulärer Reflex (V-HIT)**

Bei allen Probanden der Kontrollgruppe (n=10) waren in der HIT-Brille keine Overt- oder Covert-Sakkaden sichtbar (Abb. 21).

#### **3.1.4 Spontannystagmus**

Keiner der zehn Probanden wies spontane Augenbewegungen auf.

### **3.2 Neuritis vestibularis**

#### **3.2.1 Thermische Reizung**

58 Patienten der 60 Patienten mit Neuritis vestibularis zeigten eine einseitige Untererregbarkeit in der thermischen Reizung (Abb. 22). Ein Patient wies keine pathologische Seitendifferenz auf und ein anderer Patient hatte auf der gesunden Seite eine Untererregbarkeit. Diese beiden Fälle wurden aufgrund der typischen Anamnese, des Spontannystagmus und des eindeutigen einseitigen Funktionsdefizit beim VIN und beim V-HIT (Tab. 2) in diese Arbeit eingeschlossen.

Bei drei Patienten wies die thermische Reizung erst nach wiederholter Spülung das richtige Ergebnis auf (Abb. 23 und 24).

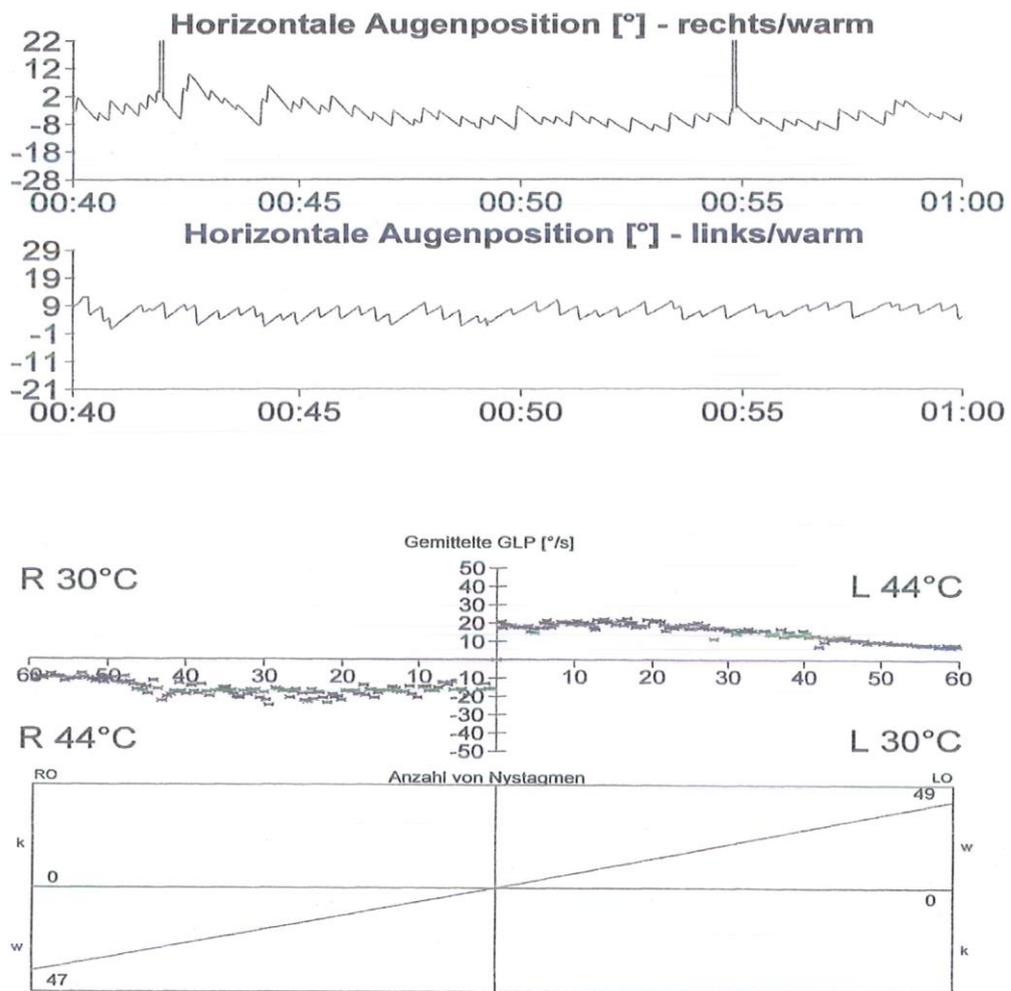


Abb. 19: Originalregistrierung der thermischen Prüfung mit 44 °C Wasser, gemittelte GLP, keine Seitendifferenz.

(°/s): Grad/Sekunde, GLP: Geschwindigkeit langsame Phase, R: Rechts, L: Links  
 RO: Rechtes Ohr. LO: Linkes Ohr, k: kalt, w: warm

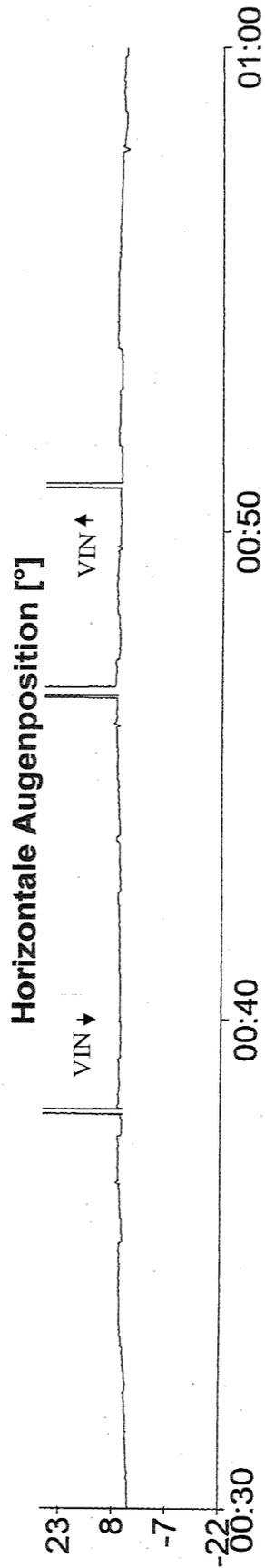


Abb. 20: Originalregistrierung bei Vibrationsreizung mit 40 Hz bei einer Normalperson  
 VIN ↓ : Beginn der Vibration, VIN ↑ : Ende der Vibration

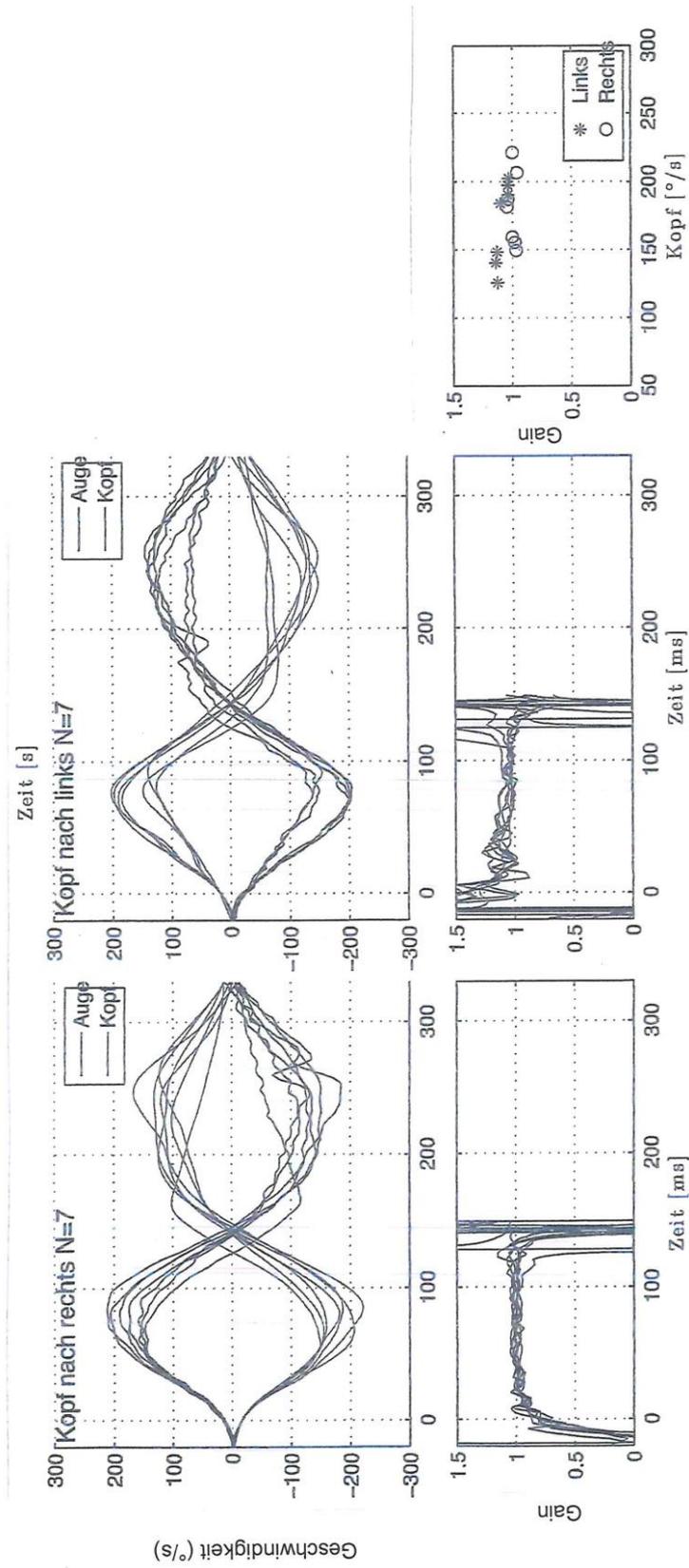


Abb. 21: Originalregistrierung mittels HIT-Brille bei einer Normalperson. Normaler Gain (ca.1), keine Sakkaden.



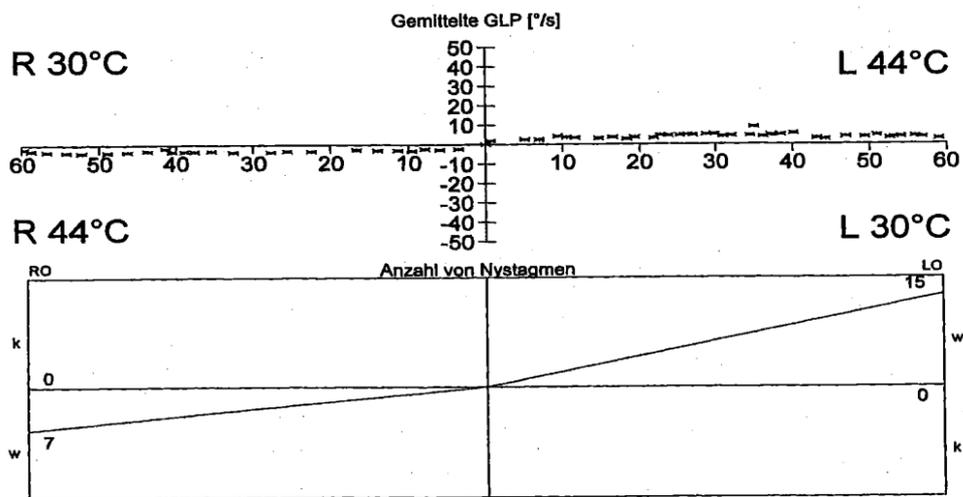
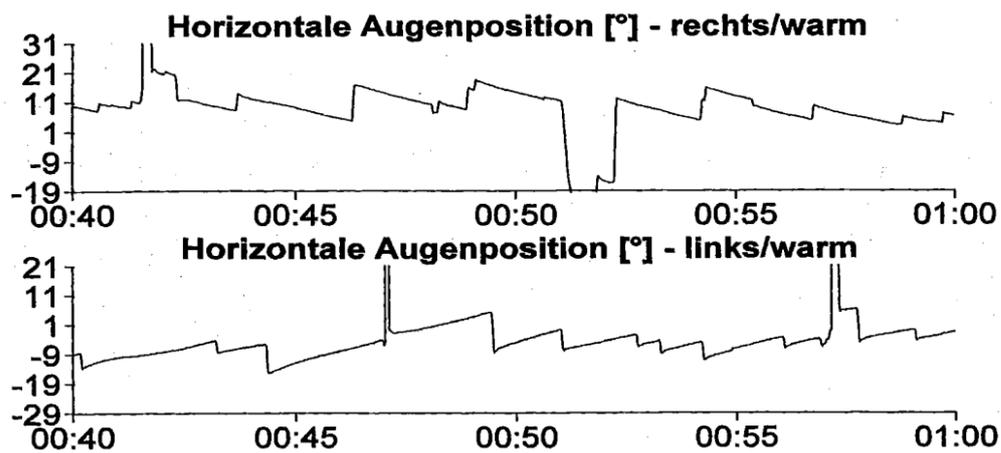


Abb. 23: Originalregistrierung der thermischen Prüfung mit 44°C Wasser bei einem Patienten mit Neuritis vestibularis links (hier Untererregbarkeit rechts).

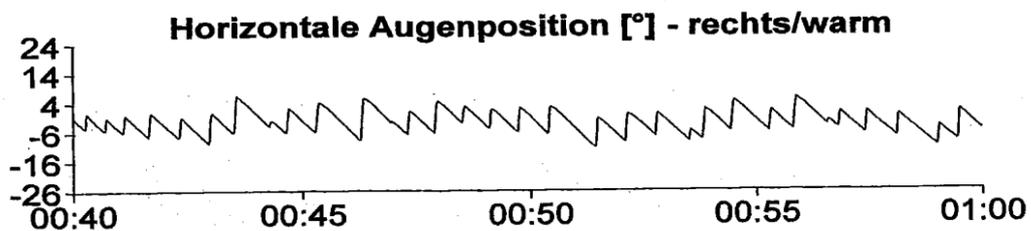
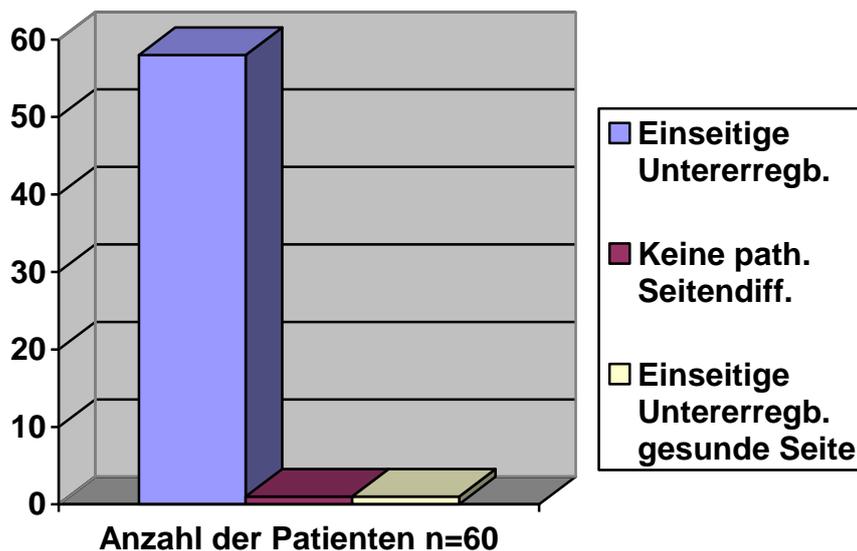


Abb. 24: Originalregistrierung der wiederholten thermischen Prüfung mit 44°C Wasser beim selben Patienten wie in Abb. 23 (hier normale Reaktion rechts).

**Tabelle 2: Ergebnis der thermischen Reizung bei Neuritis vestibularis Patienten**

Ergebnis der thermischen Reizung	Pathologischer Befund	Anzahl der Patienten n=60
Einseitige Untererregbarkeit	Einseitig	58
Keine pathologische Seitendifferenz	Nicht vorhanden	1
Einseitige Untererregbarkeit gesunde Seite	Einseitig	1



### 3.2.2 Vibrationsinduzierter Nystagmus (VIN)

Bei 59 Patienten mit Neuritis vestibularis ließ sich ein vibrationsinduzierter Nystagmus (VIN) auslösen. Bei den Patienten, die keinen Spontannystagmus aufwiesen, wurde durch den Vibrationsreiz ein Nystagmus in horizontaler Ebene in Richtung des thermisch stärker erregbaren horizontalen Bogengang induziert (Tab.3). In den anderen Fällen kam es durch den Vibrationsreiz zu einer deutlichen Beschleunigung der Nystagmusfrequenz (Abb. 25). Dabei war bei diesen 59 Patienten die Reizantwort direkt mit der Reizdauer gekoppelt. Der VIN konnte mit Beginn des Reizes ausgelöst werden und verschwand mit Ende des Reizes. In einem Fall war der VIN zum thermisch schwächer erregbaren horizontalen Bogengang gerichtet.

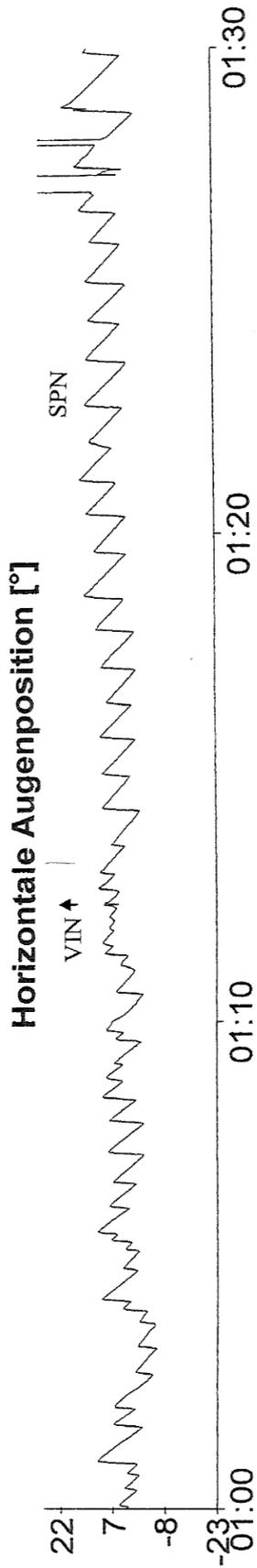
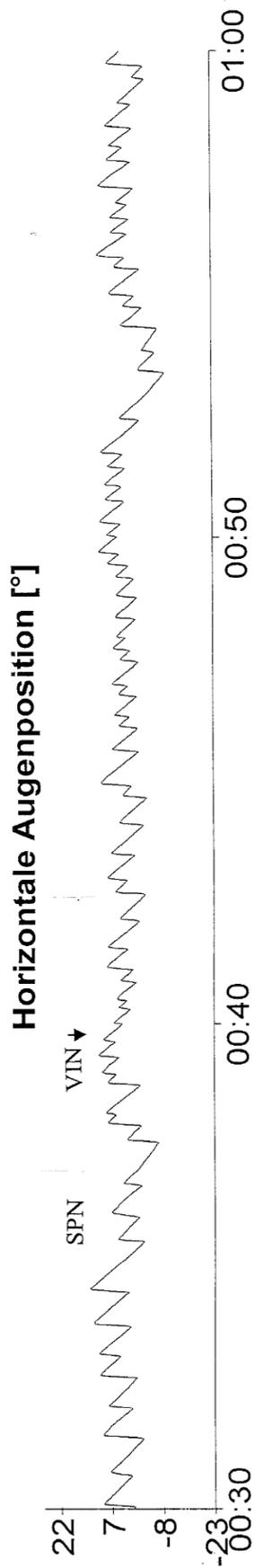
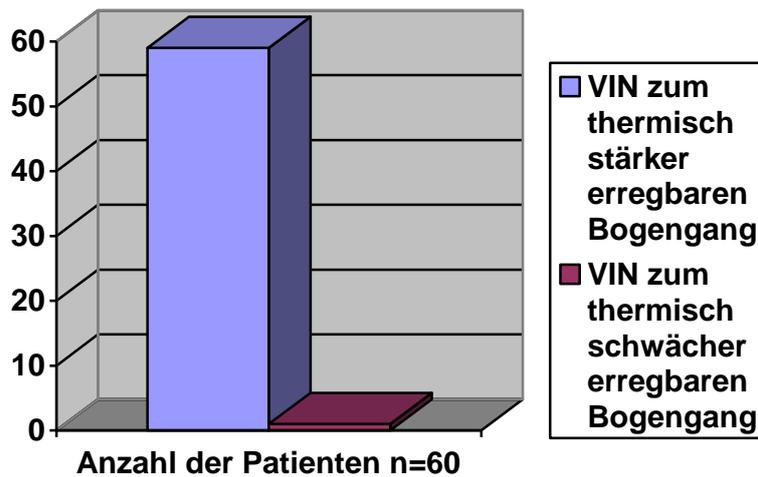


Abb. 25.: Originalregistrierung des beschleunigten Spontanystagmus durch Vibrationsreizung (Nystagmus nach rechts).  
Abkürzung siehe Abb. 20

**Tabelle 3: Ergebnis des vibrationsinduzierten Nystagmus bei Neuritis vestibularis Patienten**

Ergebnis des vibrationsinduzierten Nystagmus	Anzahl der Patienten n=60
VIN in Richtung des thermisch stärker erregbaren horizontalen Bogengang	59
VIN in Richtung des thermisch schwächer erregbaren horizontalen Bogengang	1



### 3.2.3 Vestibulookulärer Reflex (V-HIT)

Bei 44 Patienten mit Neuritis vestibularis ließen sich mit der HIT-Brille schnelle Korrektursakkaden (Overt - oder Covert - Sakkaden) feststellen.

37 dieser 44 Patienten hatten nur Overt - Sakkaden. 18 dieser Sakkaden zeigten dabei nach rechts und 19 nach links (Abb. 26).

7 von den 44 Patienten wiesen Overt - und Covert - Sakkaden auf. Hierbei zeigten 5 nach rechts und zwei nach links (Abb. 27).

Bei 16 Patienten traten beidseits keine Korrektursakkaden auf (Tab. 4).

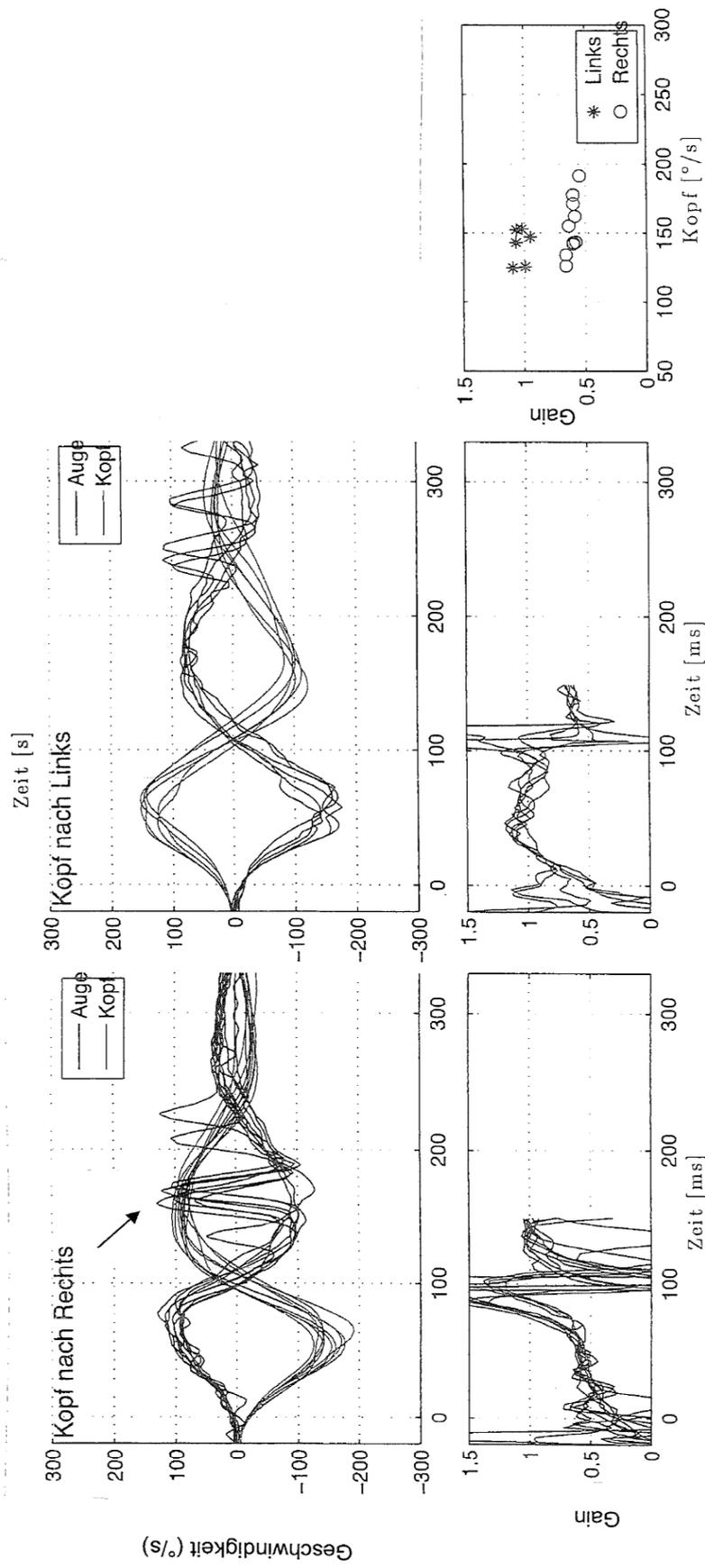


Abb. 26: Originalregistrierung mittels HIT-Brille bei einer Unterfunktion rechts (Gain ca. 0,5) und Normalbefund links.

↓ Overt-Sakkaden rechts

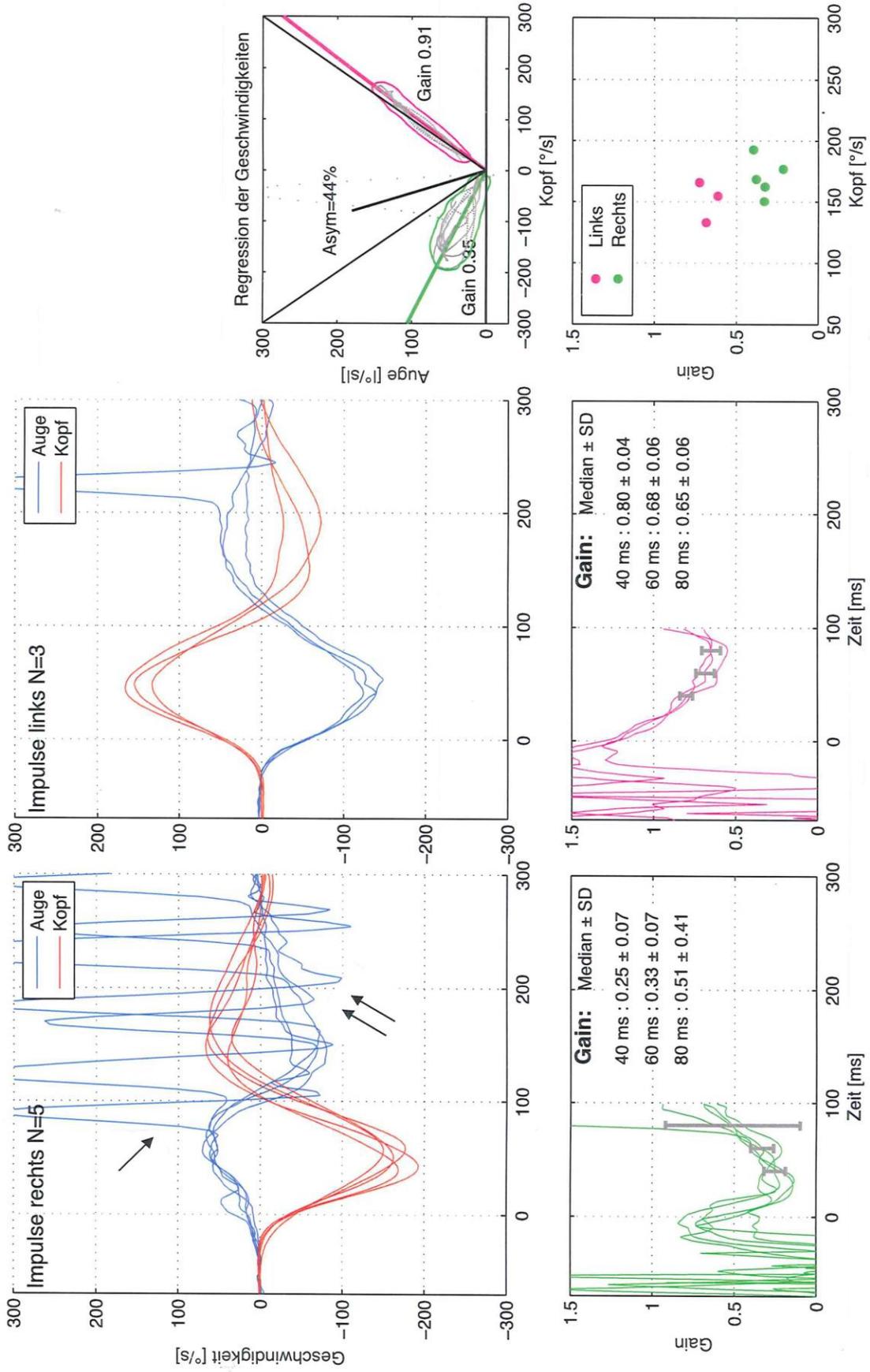
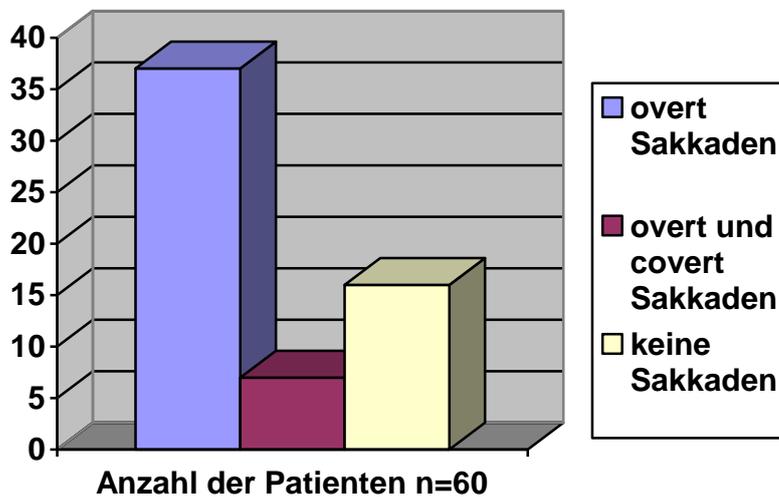


Abb. 27: Originalregistrierung mittels HIT-Brille bei einem Ausfall rechts (Gain ca. 0,4) und Normalbefund links.  
 ↓ Covert-Sakkaden rechts, ↑↑ Overt-Sakkaden rechts

**Tabelle 4: Ergebnis des VOR bei Neuritis vestibularis Patienten**

Ergebnis der VOR	Anzahl der Patienten n=60
Overt-Sakkaden	37
Overt- und Covert-Sakkaden	7
keine Sakkaden	16



### 3.2.4. Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mittels Sensitivität, Spezifität und einer beschreibenden statistischen Beurteilung in Prozentangaben durchgeführt und so die jeweilige Diagnose bezüglich der drei Untersuchungsmethoden miteinander verglichen.

Die Sensitivität liegt bei der Diagnose Neuritis vestibularis bei 68%.

Sensitivität: 41 (Anzahl richtig positiver)

---

41+19 (Anzahl richtig positiver+Anzahl falsch negativer)

68%

Die Spezifität bei 70%.

$$\text{Spezifität: } \frac{7 \text{ (Anzahl richtig negativer)}}{7+3 \text{ (Anzahl richtig negativer + Anzahl falsch positive)}} = 70\%$$

Die beschreibende statistische Auswertung in Prozent ergab bei der Diagnose Neuritis vestibularis eine starke Übereinstimmung bezüglich dem HIT und VIN (72%), dem HIT und der thermischen Prüfung (70%), sowie dem VIN und der thermischen Prüfung (95%) (Tab. 5).

Bei der Betrachtung aller drei Untersuchungsmethoden zeigte sich eine Gesamtübereinstimmung von 68% zwischen dem HIT, dem VIN und der thermischen Prüfung.

**Tabelle 5: Statistische Auswertung**

verglichene Untersuchungsmethoden	Ergebnis (%)	Übereinstimmung
HIT-VIN	72%	starke
HIT-TH	70%	starke
VIN-TH	95%	fast vollständige
HIT-VIN-TH	68%	starke

### 3.3. Morbus Menière

#### 3.3.1. Thermische Reizung

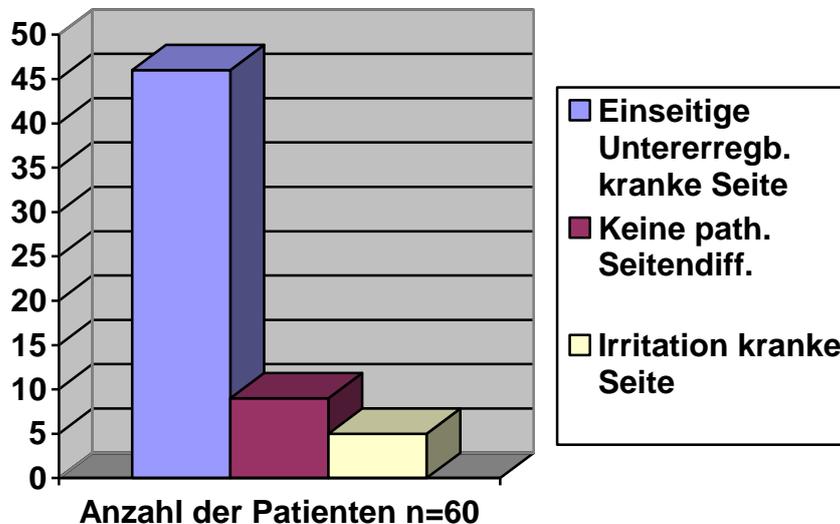
46 Patienten mit der Diagnose eines sicheren Morbus Menière zeigten bei der thermischen Spülung eine einseitige Untererregbarkeit des horizontalen Bogengangs auf der erkrankten Seite.

Neun Patienten wiesen keine pathologische Seitendifferenz auf.

Fünf Patienten hatten auf der gesunden Seite eine relative Untererregbarkeit, die als Irritationszeichen der kranken Seite, identifiziert durch das Audiogramm, interpretiert werden muss (Tab. 6).

**Tabelle 6: Ergebnis der thermischen Reizung bei Morbus Menière Patienten**

Ergebnis der thermischen Reizung	Anzahl der Patienten n=60
Einseitige Untererregbarkeit	46
Keine pathologische Seitendifferenz	9
Irritation kranke Seite	5



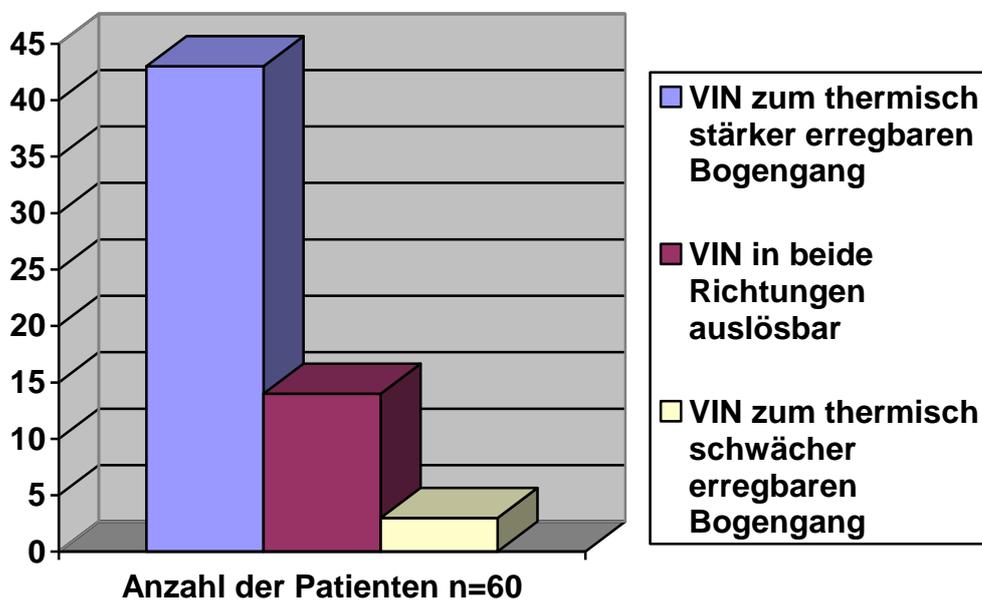
### 3.3.2 Vibrationsinduzierter Nystagmus (VIN)

Bei 57 Patienten mit Morbus Menière ließ sich ein vibrationsinduzierter Nystagmus (VIN) auslösen. Auch bei den Patienten, die keinen Spontannystagmus aufwiesen, war durch den Vibrationsreiz ein Nystagmus in horizontaler Ebene zu induzieren. Die Richtung des VIN war bei 43 von den 57 Patienten zur Seite des thermisch stärker erregbaren horizontalen Bogengangs gerichtet. Hierbei schlugen 10 Nystagmen nach rechts und 33 nach links. Bei 14 Fällen von den 57 Patienten war ein Nystagmus in beide Richtungen auslösbar.

In 3 Fällen war der VIN auf beiden Seiten zur Seite des thermisch schwächer erregbaren horizontalen Bogengang gerichtet (Tab. 7).

**Tabelle 7: Ergebnis des vibrationsinduzierten Nystagmus bei Morbus Menière Patienten**

<b>Ergebnis des vibrationsinduzierten Nystagmus</b>	<b>Anzahl der Patienten n=60</b>
VIN in Richtung des thermisch stärker erregbaren horizontalen Bogengang	43
VIN in beiden Richtungen auslösbar	14
VIN in Richtung des thermisch schwächer erregbaren horizontalen Bogengang	3



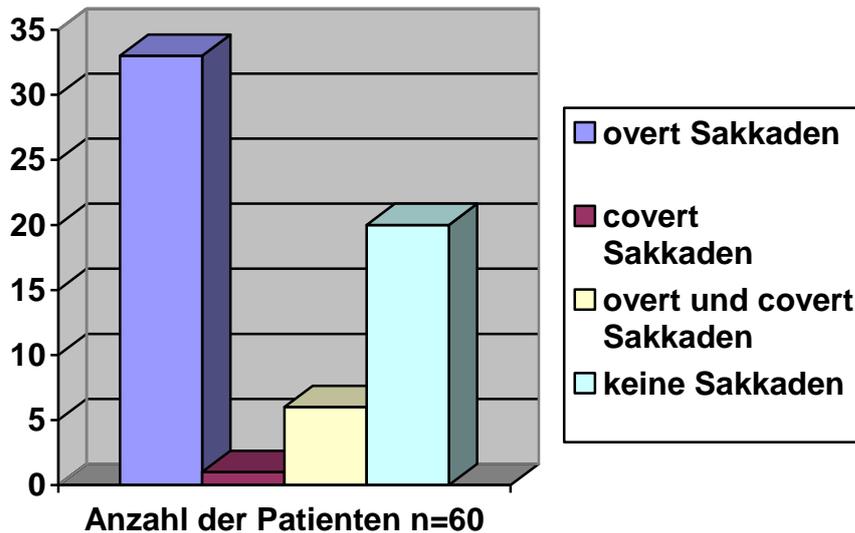
### 3.3.3 Vestibulookulärer Reflex (V-HIT)

Bei 40 der 60 Morbus Menière Patienten konnten mit der HIT-Brille Overt - und, oder Covert - Sakkaden festgestellt werden. 33 dieser 40 Patienten hatten Overt - Sakkaden.

18 Patienten mit Morbus Menière rechts zeigten entsprechende Sakkaden nach rechts und 10 Patienten mit Morbus Menière links entsprechend nach links. Zwei Patienten mit Morbus Menière rechts hatten jedoch Overt - Sakkaden nach links, ein Patient mit Morbus Menière links hatte Overt - Sakkaden nach rechts. Zwei der 33 Patienten mit der Diagnose Morbus Menière auf der rechten Seite wiesen jedoch Sakkaden in beide Richtungen auf. Ein Patient mit Morbus Menière rechts zeigte Covert - Sakkaden nach rechts. 6 Patienten wiesen sowohl Overt - als auch Covert - Sakkaden auf. Davon schlugen zwei nach links und vier nach rechts. In diesen 6 Fällen waren die Sakkaden in Richtung der betroffenen Seite. Bei 20 von den 60 Patienten waren weder Overt - noch Covert - Sakkaden vorhanden (Tab.8).

**Tabelle 8: Ergebnis des VOR bei Morbus Menière Patienten**

<b>Ergebnis der VOR</b>	<b>Anzahl der Patienten n=60</b>
Overt-Sakkaden	33
Covert-Sakkaden	1
Overt- und Covert-Sakkaden	6
keine Sakkaden	20



### 3.3.4. Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mittels Sensitivität, Spezifität und einer beschreibenden statistischen Beurteilung in Prozentangaben durchgeführt und so die jeweilige Diagnose bezüglich der drei Untersuchungsmethoden miteinander verglichen.

Die Sensitivität liegt bei der Diagnose Morbus Menière bei 38%.

$$\text{Sensitivität: } \frac{23}{23+37} \text{ (Anzahl richtig positiver)} = 38\%$$

23+37 (Anzahl richtig positiver + Anzahl falsch negativer)

Die Spezifität bei 70%.

$$\text{Spezifität: } \frac{7}{7+3} \text{ (Anzahl richtig negativer)} = 70\%$$

7+3 (Anzahl richtig negativer + Anzahl falsch positive)

Die statistische Auswertung ergab eine starke Übereinstimmung bezüglich dem HIT und VIN (62%) sowie dem VIN und der thermischen Prüfung (72%).

Zwischen dem HIT und der thermischen Prüfung zeigte sich eine deutliche Übereinstimmung von 43% (Tab.9).

Zwischen dem HIT, dem VIN und der thermischen Prüfung fand sich eine Übereinstimmung von 38%.

**Tabelle 9: Statistische Auswertung**

<b>verglichene Untersuchungsmethoden</b>	<b>Ergebnis (%)</b>	<b>Übereinstimmung</b>
HIT-VIN	62%	starke
HIT-TH	43%	deutliche
VIN-TH	72%	starke
HIT-VIN-TH	38%	schwache

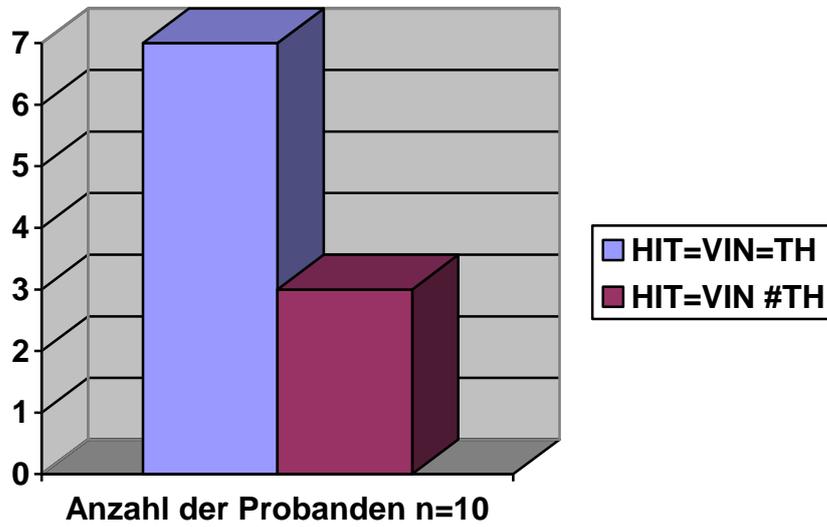
### **3.4. Vergleich der Ergebnisse von vibrationsinduziertem Nystagmus mit thermischer Reizung und mit dem vestibulookulären Reflex**

#### **3.4.1 Kontrollgruppe**

Die an den 10 Versuchspersonen erhobenen Daten zeigten die zu erwartenden Übereinstimmungen zwischen HIT- Brille und VIN. Bei keinem dieser Probanden wurden unter der HIT- Brille Sakkaden gesehen oder registriert. Ebenso ließ sich bei keinem unserer Probanden ein vibrationsinduzierter Nystagmus (VIN) auslösen. Im Vergleich von thermischer Reizung, vibrationsinduziertem Nystagmus (VIN) sowie HIT zeigte sich bei 7 Probanden eine Übereinstimmung, bei 3 Probanden jedoch ein Widerspruch, da in der thermischen Reizung eine einseitige Untererregbarkeit bestand (Tab.10).

**Tabelle 10: Ergebnis der Probanden im Gesamtvergleich**

Ergebnisse	Anzahl der Probanden n=10
HIT=VIN=TH	7
HIT=VIN # TH	3



### 3.4.2. Patienten

#### 3.4.2.1. Patienten mit Neuritis vestibularis

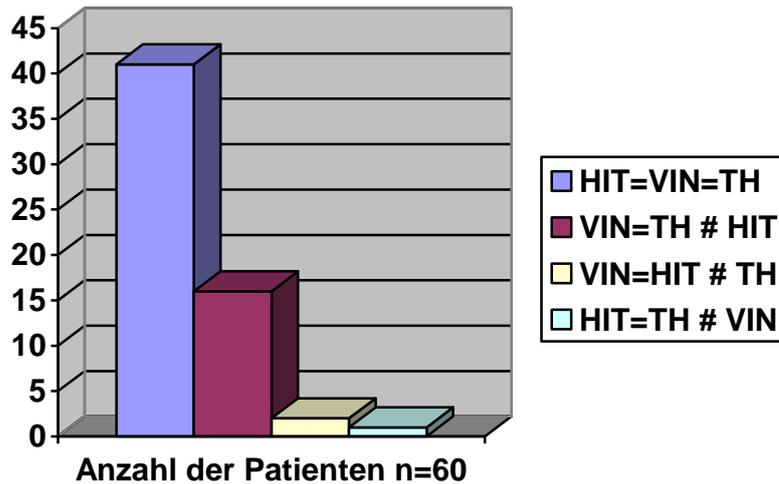
Bei 41 der 60 Patienten mit Neuritis vestibularis stimmten die Befunde der thermischen Reizung mit denen des VIN und HIT überein. Wenn man die Ergebnisse der thermischen Prüfung mit den Ergebnissen der Vibrationsstimulation vergleicht, so ergibt sich eine Übereinstimmung bei 44 Patienten. Bei 16 Patienten fiel der HIT jedoch negativ aus.

Bei zwei Patienten ergab die thermische Reizung ein anderes Ergebnis als der VIN und der HIT. In einem von diesen zwei Fällen zeigte die thermische Reizung ein seitengleiches Ergebnis, obwohl ein vibrationsinduzierter Nystagmus (VIN) und der HIT auslösbar waren.

In einem anderen Fall zeigte sich bei der thermischen Reizung eine Untererregbarkeit auf der gesunden Seite. Diesen beiden Patienten wurden aufgrund der Anamnese, des Spontannystagmus und des eindeutigen Funktionsdefizits auf der einen Seite beim VIN und HIT in diese Arbeit eingeschlossen. Die Diagnose einer Neuritis vestibularis war trotz des Ergebnis der thermischen Prüfung eindeutig. In einem weiteren Fall schlug der VIN zu der thermisch schwächeren Seite, obwohl der HIT und die thermische Spülung übereinstimmten (Tab.11).

**Tabelle 11. Ergebnis Neuritis vestibularis im Gesamtvergleich**

<b>Ergebnisse Neuritis vestibularis</b>	<b>Anzahl der Patienten n=60</b>
HIT=VIN=TH	41
VIN=TH # HIT	16
VIN=HIT # TH	2
HIT=TH # VIN	1



### 3.4.2.2. Patienten mit Morbus Menière

Bei 23 Patienten mit der Diagnose Morbus Menière stimmten die Befunde in der thermischen Spülung mit dem VIN und dem V-HIT überein.

Bei 20 Patienten waren beim HIT keine Sakkaden zu sehen. Bei den 40 anderen Patienten zeigten die thermische Prüfung und der VIN aber übereinstimmende Ergebnisse.

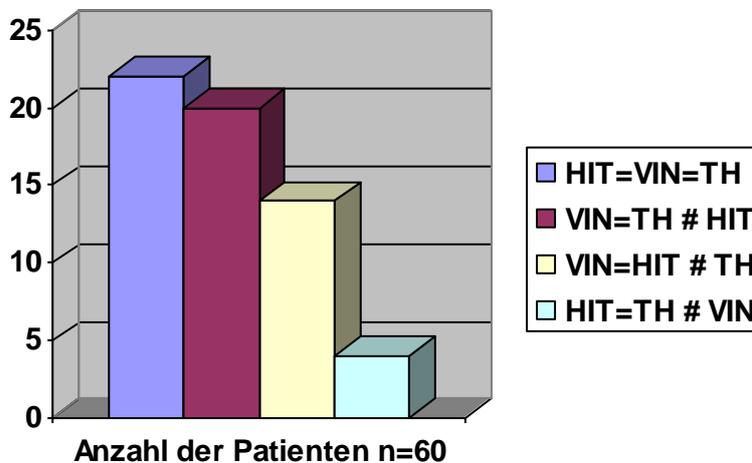
46 Patienten zeigten in der thermischen Reizung eine einseitige Untererregbarkeit des horizontalen Bogengangs auf.

14 Patienten wiesen keine pathologische Seitendifferenz oder eine relative Untererregbarkeit der gesunden Seite im Sinne von Irritationen der kranken Seite auf.

In 26 Fällen stimmten die thermische Prüfung und der HIT überein. In 37 Fällen der VIN und der HIT. In nur 3 Fällen zeigte der VIN ein anderes Ergebnis als die thermische Reizung und der HIT. Der VIN schlug in diesen 3 Fällen in Richtung des thermisch schwächer erregbaren horizontalen Bogengangs (Tab.12).

**Tabelle 12: Ergebnis Morbus Menière im Gesamtvergleich**

Ergebnisse	Anzahl der Patienten n=60
HIT=VIN=TH	23
VIN=TH #HIT	20
VIN=HIT # TH	14
HIT=TH # VIN	3



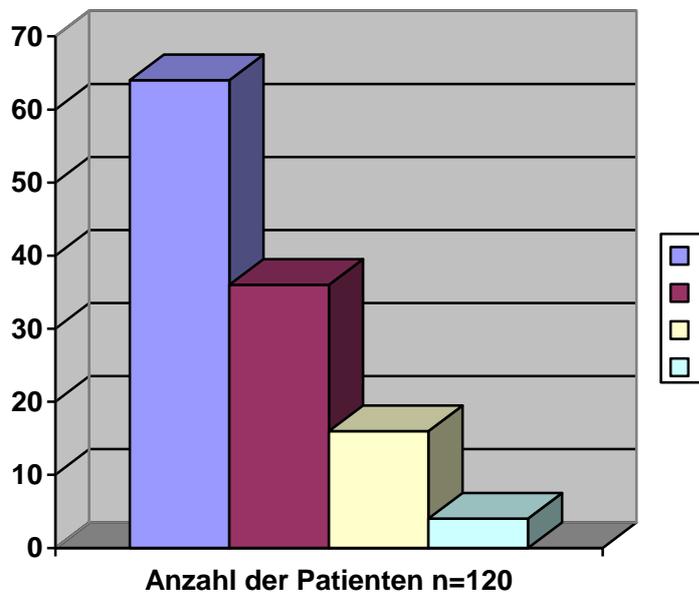
### 3.4.2.3. Vergleich des Gesamtkollektiv der Patienten

Beim Vergleich der Patienten mit Neuritis vestibularis mit denen, die an einem sicheren Morbus Menière litten, fällt auf, dass die Befunde der Patienten mit Neuritis vestibularis mehr Homogenität zwischen allen drei Untersuchungsverfahren aufzeigten.

Bei den Patienten mit Morbus Menière zeigten sich dagegen mehr Widersprüche zwischen den drei Untersuchungsmethoden.

**Tabelle 13: Gesamtvergleich**

Ergebnisse	Anzahl der Patienten n=120
HIT=VIN=TH	64
VIN=TH # HIT	36
VIN=HIT # TH	16
HIT=TH # VIN	4



#### 3.4.2.4. Statistische Auswertung des Gesamtkollektiv der Patienten (p=120)

Die statistische Auswertung wurde mittels Sensitivität, Spezifität und einer beschreibenden statistischen Beurteilung in Prozentangaben durchgeführt und so das Gesamtkollektiv bezüglich der drei Untersuchungsmethoden miteinander verglichen.

Die Sensitivität liegt beim Gesamtkollektiv bei 53%.

$$\text{Sensitivität: } \frac{64 \text{ (Anzahl richtig positiver)}}{64+56 \text{ (Anzahl richtig positiver + Anzahl falsch negativer)}} = 53\%$$

Die Spezifität liegt bei 70%.

$$\text{Spezifität: } \frac{7 \text{ (Anzahl richtig negativer)}}{7+3 \text{ (Anzahl richtig negativer + Anzahl falsch positive)}} = 70\%$$

Die beschreibende statistische Auswertung in Prozent ergab eine starke Übereinstimmung bezüglich dem HIT und VIN (67%) und dem VIN und der thermischen Prüfung (83%). Zwischen dem HIT und der thermischen Prüfung zeigte sich eine deutliche Übereinstimmung von 57%.

Bei der Betrachtung aller drei Untersuchungsmethoden zeigte sich eine Übereinstimmung von 53% zwischen dem HIT, dem VIN und der thermischen Prüfung. Die Sensitivität liegt hier ebenfalls bei 53%.

**Tabelle 14: Statistische Auswertung**

<b>verglichene Untersuchungsmethoden</b>	<b>Ergebnis (%)</b>	<b>Übereinstimmung</b>
HIT-VIN	67%	starke
HIT-TH	57%	deutliche
VIN-TH	83%	starke
HIT-VIN-TH	53%	deutliche

## **4. Diskussion**

### **4.1. Wertigkeit der thermischen Prüfung, des vibrationsinduzierten Nystagmus und des vestibulookulären Reflex**

Seit 1905 gilt die erstmals von Bárány beschriebene kalorische Untersuchung des horizontalen Bogengangs als der Goldstandard für die seitengetrennte Überprüfung des Vestibularapparates. Dennoch gibt es bei dieser unphysiologischen Erregung bisher keine zuverlässige und objektive Kontrolle. Die Reproduzierbarkeit aufgrund abweichender Ergebnisse bei aufeinanderfolgenden Untersuchungen ist eingeschränkt. Mit dieser Methode ist zwar eine seitengetrennte Beurteilung möglich, jedoch empfinden viele Patienten die thermische Reizung als sehr unangenehm und die Reizausbreitung ist sehr unterschiedlich. Erst eine Seitendifferenz von 20% gilt als pathologisch.

1973 beschrieb Lücke eine neue Methode, bei der durch einen Vibrationsreiz von 100 Hz an der Schädelkalotte bei pathologischer Seitendifferenz ein latenter Vibrationsnystagmus ausgelöst werden kann. Durch weitere Untersuchungen von Hamann und Schuster konnte gezeigt werden, dass es bei 90% aller Patienten mit einer peripher-vestibulären Störung zur Auslösung von vibrationsinduzierten Nystagmen kommt. Als optimale Platzierung für das Vibrationsgerät hat sich das Mastoid herausgestellt. Die Vibration ist eine physiologische Reizung, die Intensität ist aber unphysiologisch. Die meisten und deutlichsten Nystagmen sind bei 60 Hz auslösbar. Diese Methode hat in vielen Kliniken Anklang gefunden und wird zusätzlich zur kalorischen Prüfung angewendet. Da die Möglichkeit der Überprüfung fehlt und in manchen Fällen sich die Vibrationsreizung und die thermische Spülung widersprechen, führte die von Lücke beschriebene Methode jedoch nicht dazu, die kalorische Spülung abzulösen.

Aufgrund von Untersuchungen von Hamann und Wiblishauser (2003) konnte gezeigt werden, dass eine hohe Korrelation zwischen dem Auftreten eines VIN und den Ergebnissen der thermischen Prüfung besteht. Es erfolgt jeweils eine Reizung am selben vestibulären Teilorgan, dem horizontalen Bogengang. Aus dieser Arbeit ist ebenso bekannt, dass selbst bei seitengleicher und unauffälliger thermischer

Reizung die Auslösung eines VIN möglich ist und somit die Reizung mittels VIN in manchen Fällen als genauere Methode gegenüber der thermischen Prüfung angesehen werden kann. Auch in unserer Arbeit zeigt sich diese hohe physiologische Schwankungsbreite bei der thermischen Prüfung.

Mit Hilfe der grundlegenden Arbeiten von Cajal 1908 und 1909 gelang es Lorente de Nó bereits 1933, den vestibulookulären Reflex (VOR) als reinen Hirnstammreflex zu beschreiben. Hierbei handelt es sich um eine Verschaltung der Bogengänge des Gleichgewichtsorgans mit den Nervenkerne der Augenmuskeln (Nucleus nervi oculomotorii, Nucleus nervi trochlearis, Nucleus motorius nervi abducentis). 1988 wurde dieser Hirnstammreflex von Halmagyi und Curthoys als einfacher Kopfpulstest in der Praxis des Hals-Nasen-Ohrenarztes und Neurologen etabliert. Bei diesem Reflex werden bei Kopfdrehungen die Augen mit gleicher Geschwindigkeit in die entgegengesetzte Richtung bewegt. Somit kann ein Objekt trotz Kopfbewegung weiterhin fixiert werden. Auch dieser HIT-Test, der ein rein physiologischer Test ist, hat es bisher nicht geschafft, die aufwändige kalorische Spülung abzuschaffen, weil es bisher keine einfache Methode zur Dokumentation des Head Impulse Test (HIT) gab. Eindeutige klinische Befunde gab es nur bei einem kompletten Ausfall des Vestibularapparates.

Mittels der aufwändigen Search coil Messtechnik (Robinson 1963) bestand die Möglichkeit, Augenbewegungen im Rahmen von Studien und zu Forschungszwecken zu registrieren. Hierbei wird dem Patienten über eine Kontaktlinse eine kleine Magnetspule auf den Augenbulbus gesetzt. Der Patient befindet sich in einem elektromagnetischen Feld. Durch Messung von Induktionsströmen und Bewegungen der Magnetspulen im elektromagnetischen Feld lassen sich so Augenbewegungen bis 0,1 Grad ableiten und aufzeichnen (Scherer, 1997). Diese Technik ist sehr aufwändig und wird von den Patienten schlecht geduldet.

Seit Einführung der Hochfrequenz-Videokopfpulsbrille (HIT-Brille) kann man schnell und ohne größeren Aufwand den klinischen Halmagyi Test analysieren. Mittels der HIT-Brille ist es sogar möglich, Refixationssakkaden bei Patienten mit

normalen Gain festzustellen. Diese hätte man, wie in der Studie von Nicolás Pérez (2012) beschrieben, mit dem klinischen Halmagyi-Test ohne Aufzeichnung nicht gesehen.

Die Ergebnisse von Kopfpulstest, vibrationsinduziertem Nystagmus und kalorischer Spülung wurden in dieser Arbeit miteinander verglichen. Es wurden ausschließlich Patienten mit der eindeutigen Diagnose Neuritis vestibularis und Morbus Menière berücksichtigt. Parallel zu den Patientenuntersuchungen wurden zehn gesunde Probanden getestet. Bei sieben Probanden zeigte sich eine Übereinstimmung von HIT, VIN und thermischer Prüfung. Dagegen zeigten drei Probanden nur eine Übereinstimmung von HIT und VIN, wobei die thermische Prüfung ein anderes Ergebnis lieferte.

Dies zeigt erneut die Unsicherheit bei der thermischen Reizung. Bei den gesunden Probanden wäre ein seitengleiches Ergebnis zu erwarten.

Bei der Gruppe der 60 Neuritis Vestibularis-Patienten zeigten erwartungsgemäß 41 Fälle eindeutige und übereinstimmende Ergebnisse beim VIN, HIT und der thermischen Spülung. Damit zeigten sich deutlich mehr übereinstimmende und stabilere Ergebnisse als beim Patientengut mit der Diagnose Morbus Menière. Bei weiteren 16 Fällen stimmten die thermische Prüfung und der VIN überein. Der HIT war bei diesen Fällen jedoch negativ und zeigte keine Übereinstimmung. In diesen Fällen bestätigt die Spülung die zu erwartenden Ergebnisse. Vermutlich lassen sich diese Ergebnisse aufgrund der unterschiedlichen Reizung der niedrig- und hochfrequenz-sensiblen vestibulären Sinneszellen und dem entsprechenden Rezeptororgan erklären. Beim VIN und der thermischen Spülung kommt es zu einer Reizung am selben vestibulären Teilorgan, und zwar dem horizontalen Bogengang. Man verfolgt die Theorie, dass aufgrund der größeren Übereinstimmung zwischen VIN und der thermischen Spülung gegenüber HIT und thermischer Spülung eher die niedrigfrequenz-sensiblen Sinneszellen vom Typ II gereizt werden, obwohl mittels VIN am Mastoid Frequenzen von bis zu 100 Hz erzeugt werden können. Mittels dem HIT werden vermutlich die hochfrequenz-sensiblen Sinneszellen vom Typ I erregt.

Bei zwei weiteren Fällen zeigt sich auch in dieser Arbeit die Überlegenheit des vibrationsinduzierten Nystagmus gegenüber der thermischen Spülung. In einem dieser zwei Fälle zeigte die thermische Prüfung ein seitengleiches Ergebnis trotz eindeutiger Diagnose, Spontannystagmus und entsprechenden Befunden im VIN und HIT. In dem anderen Fall zeigte die thermische Spülung sogar eine Unterfunktion auf der gesunden Seite.

Eindrucksvoll ist, dass bei drei weiteren Fällen die thermische Prüfung erst nach wiederholter Spülung das richtige Ergebnis anzeigen konnte. Somit lässt sich schlussfolgern, dass die Überprüfung des Vestibularapparates mittels VIN und HIT bei der Diagnosestellung der Neuritis vestibularis sicherer ist, als die thermische Prüfung, da diese in fünf Fällen ein falsches Ergebnis lieferte.

In unserem Patientengut wurden nur Morbus Menière Patienten eingeschlossen, die anhand der AAO-HNS Kriterien einen sicheren Morbus Menière aufwiesen. Für dieses Krankheitsbild sind der anfallsartige Verlauf und der wechselhafte Erregungszustand der vestibulären Sinneszellen charakteristisch. Die schlechtere Übereinstimmung von unseren Ergebnissen lässt sich aufgrund der deutlichen Irritationszeichen während des Anfalls und der Destruktionszeichen bei längerem Bestehen dieser Erkrankung erklären. So fand sich bei 23 Patienten dieser Gruppe eine komplette Übereinstimmung von VIN, HIT und thermischer Prüfung. Diese Ergebnisse sind schwankender als bei dem Patientengut mit der Diagnose Neuritis vestibularis.

Bei weiteren 20 Patienten stimmten VIN und thermische Prüfung überein. Der HIT war negativ. Diese Ergebnisse lassen sich vermutlich wieder aufgrund der unterschiedlichen Nervenzelltypen erklären, die beim VIN und der thermischen Prüfung bzw. dem HIT stimuliert werden.

Betrachtet man die Anatomie des Vestibularapparates genauer, so befinden sich im Utrikulus und Sacculus die Maculae. In den jeweils drei Bogengängen sitzen die Ampullen mit der Crista ampullaris. In den Maculae und Cristae des vestibulären Systems befinden sich vestibuläre Haarzellen vom Typ I und II (Wersäll, 1956) sowie

Stützzellen. Die Typ I - Zellen unterscheiden sich histologisch durch ihren schmalen Hals am apikalen Ende und ihre Form. Sie sind von hemmenden Nervenfasern aus dem Ganglion scarpae (Wersäll, 1956) kelchförmig umgeben. Sie besitzen nur ein Kinocilium, welches immer länger ist als die ca. 60-100 Stereozilien, die wiederum länger als die Stereozilien der Typ II - Zellen sind.

Die Typ II - Zellen sind dagegen kleiner, zylinderförmig und haben keinen Hals am apikalen Ende. Die Typ II - Zellen sind von afferenten und efferenten Nervenfasern (Harada, 1983) umgeben, die wiederum mit Synapsen (Smith und Sjostrand, 1961) miteinander verbunden sind. Zusätzlich ist nicht nur eine Nervenfaser mit einer Typ II - Zelle verbunden, sondern hat Verbindungen zu vielen Typ II - Zellen (Wersäll, 1956). Laut Friedmann und Ballantyne, 1984, sind die Typ II - Zellen entwicklungsgeschichtlich älter als die Typ I - Zellen.

Durch die Arbeit von Goldberg und Fernandez (1971) wurden unterschiedliche Entladungsmuster an den primären Afferenzen der Bogengänge festgestellt. Unregelmäßige Entladungsmuster wurden dabei an den dicken Typ I - Zellen beobachtet. Dünne Typ II - Zellen zeigten dabei stets ein regelmäßiges Verhältnis von Ruheentladung und dem Ansprechen auf Drehbewegungen.

Ähnliche Ergebnisse zeigte Park et al., 2005 bei seinen Untersuchungen bei 38 Morbus Menière Patienten mit der Search Coil Technik. Seine Patienten hatten bei dieser aufwändigen und im klinischen Alltag nicht routinemäßig durchführbaren Messung mittels Magnetspulen überwiegend ein unauffälliges Ergebnis beim HIT-Test, obwohl sie unter Schwindelanfällen litten. Die kalorische Untersuchung zeigte dagegen mehr Übereinstimmungen. Nach Auszählungen der vestibulären Haarzellen von 30 Vestibularapparaten bei Patienten mit Morbus Menière, fanden Tsuji et al., 2000, heraus, dass bei diesem Patientengut die kleinen zylinderförmigen Typ II - Zellen geschädigt sind. Somit schlussfolgert Park 2005, dass der HIT-Test, also das vermeintliche Testverfahren zur Prüfung mittels hochfrequentem Stimulus bei Menière Patienten nicht so aussagekräftig ist, weil diese Zelltypen noch erhalten sind.

Auch in einer weiteren Studie von Stuart Mossman aus dem Jahre 2012 wurde gezeigt, dass der HIT-Test sich bei Patienten mit Morbus Menière schneller

normalisiert, als bei Patienten mit Neuritis vestibularis. Damit erklärt sich auch, weshalb der HIT bei unseren 20 Menière Patienten negativ ist.

In weiteren 14 Fällen der Morbus Menière-Gruppe stimmten HIT und VIN überein. Die thermische Prüfung zeigte eine relative Unterfunktion am gesunden Ohr, die als Irritation der kranken Seite zu werten ist, oder seitengleiche Ergebnisse. Dies lässt sich auf den wechselnden Erregungszustand der peripher-vestibulären Rezeptoren zurückführen. Diese Patienten befanden sich in einer aktiven Phase der Krankheit, wobei die thermische Prüfung eine relative Übererregbarkeit der kranken Seite anzeigt.

Die früheren Studienergebnisse von Park, Tsuji und Mossman unterstützen unsere Daten, so dass man davon ausgehen muss, dass es durch schnelle hochfrequente Reizung des Vestibularapparates, wie sie vermutlich bei dem HIT-Test stattfindet, zu einer entsprechenden Änderung des Ruhepotentials an den Typ I - Zellen kommt. Hingegen werden durch niedrigfrequente Reize, mittels thermischer Prüfung, überwiegend die Typ II - Zellen stimuliert.

#### **4.2. Stellenwert von Kopfpulstest und Vibrationsreizung in der Neurootologischen Diagnostik**

Sowohl die thermische Prüfung als auch der VIN und HIT sind im Alltag des Hals-Nasen-Ohrenarztes oder Neurologen vertreten. Die drei Untersuchungsmethoden sind belegt und werden auch bei gutachterlichen Fragestellungen herangezogen. Vestibuläre Funktionsstörungen sind ein sehr häufiges Krankheitsbild in der Medizin.

Einfache und reproduzierbare Messmethoden sind für jeden Untersucher wünschenswert. Sowohl bei der thermischen Prüfung als auch bei der Vibrationsstimulation findet primär eine Reizung am horizontalen Bogengang statt. Vermutlich findet durch die Vibrationsstimulation aber auch eine zusätzliche Reizung an anderen Bereichen des Vestibularapparates (Utriculus) statt (Curthoys, 2011). In früheren Studien konnte gezeigt werden, dass trotz seitengleicher Erregbarkeit in der thermischen Prüfung ein VIN auslösbar ist. Bereits Lücke und später Hamann

vermuteten und bewiesen eine höhere Empfindlichkeit der Vibrationsreizung gegenüber der thermischen Prüfung.

Anhand der Ergebnisse dieser Arbeit wurde die Vermutung bestätigt, dass die unterschiedlichen vestibulären Haarzelltypen bei unterschiedlicher frequenzabhängiger Reizung ansprechen und man deshalb bei Übereinstimmung von VIN und HIT auf die thermische Prüfung verzichten kann. Mittels HIT-Test lassen sich vermutlich auf eine einfache und schnelle Weise die Typ I - Zellen stimulieren. Mittels thermischer Prüfung und Vibrationsreizen von 40 Hz findet dagegen eher eine niedrigfrequente Stimulierung an den Typ II - Zellen statt. Zu einer kompletten und ausführlichen Untersuchung des Vestibularapparates gehört die Testung beider Zelltypen. Eine Prüfung mittels thermischer Spülung zeigt ebenfalls nur ein Funktionsdefizit der niedrigfrequenten Typ II - Zellen. In Kombination mit dem VIN erhalten wir keine weiteren Informationen über die Funktionalität der Vestibularapparate. Für die klinische Untersuchung ist deshalb eine Kombination aus HIT und VIN ausreichend, so dass man auf die thermische Prüfung verzichten kann.

#### **4.3. Ist die thermische Vestibularisprüfung durch eine Kombination von Vibrationsreizung und aufgezeichneten Kopfimpulstest ersetzbar?**

Wegen der hohen Übereinstimmung der Ergebnisse von VIN und HIT bei der Vielzahl unserer Patienten, Betrachtung der Befunde auch bei den gesunden Probanden, den anatomischen Erkenntnissen und früheren Studien bezüglich der unterschiedlichen vestibulären Sinneszellen, erscheint es sinnvoll, in den Fällen, in denen eine Übereinstimmung von VIN und HIT vorliegt, auf die seit ca. 100 Jahren benutzte thermische Prüfung zu verzichten. Dies bezieht sich nicht nur auf den medizinischen Aspekt, sondern auch auf den Zeitaufwand, den die thermische Untersuchung mit sich bringt und natürlich die Umstände für Arzt und Patient, unter denen diese Untersuchung durchgeführt werden muss. Dem Patienten könnte somit diese unangenehme Untersuchungsmethode erspart werden. Stimmen VIN und HIT allerdings nicht überein, muss die thermische Prüfung zur Diagnosesicherung durchgeführt werden.

## 5. Zusammenfassung

In dieser Studie sollen drei im Alltag des Hals-Nasen-Ohrenarztes übliche Untersuchungsmethoden zur Prüfung des Vestibularapparates miteinander verglichen werden. Zum einen die seit Anfang des 20. Jahrhunderts bekannte thermische Prüfung, zum anderen die in den 70er Jahren eingeführte vibrationsinduzierte Reizung sowie die Untersuchung mittels Kopfimpulstest, die Ende der 80er Jahre Einzug in die Praxis erhalten hat. Die Wertigkeit der einzelnen Untersuchungsmethoden wurde hinterfragt. Es sollte auch geklärt werden, ob die aufwändige thermische Prüfung durch die Kombination von Kopfimpulstest (HIT) und vibrationsinduziertem Nystagmus (VIN) ersetzt werden kann.

Insgesamt wurden 10 gesunde Probanden und 120 Patienten mit einer vestibulären Störung untersucht. 60 Patienten litten dabei an einer Neuritis vestibularis und weitere 60 Patienten an einem sicheren Morbus Menière. Die Patienten waren beiderlei Geschlechts. Alle Diagnosen wurden durch denselben Neurootologen gestellt. Alle Patienten und die gesunden Probanden wurden vom selben Assistenten untersucht. Dieser überprüfte bei allen 130 Personen die vestibuläre Funktion mittels thermischer Prüfung, der Aufzeichnung spontaner Augenbewegungen, eines Vibrationsnystagmus und mit dem Video- Kopfimpulstest.

Die Untersuchungsmethode mittels VIN bietet allen Beteiligten deutliche Vorteile. Die Untersuchungszeit ist deutlich kürzer, dem Patienten werden Übelkeit und Brechreiz erspart, und der behandelnde Arzt selbst führt die Untersuchung durch.

Mittels einer Hochfrequenz-Videobrille ist es nun möglich, die Kopf- und Augenbewegungen beim vestibulookulären Reflex aufzuzeichnen und zu dokumentieren. Diese Methode wurde bei allen Patienten und Probanden angewandt.

Durch die Visualisierung und Aufzeichnung der drei Methoden konnte ein hohes Maß an Übereinstimmung zwischen dem Kopfimpulstest, dem vibrationsinduzierten Nystagmus und der thermischen Prüfung dokumentiert werden. Es lässt sich

schlussfolgern, dass bei Übereinstimmen von HIT und VIN eine zusätzliche thermische Prüfung überflüssig ist. In einigen Fällen führte die unphysiologische thermische Reizung sogar zu falschen Ergebnissen. Gesunde Probanden zeigten Funktionsdefizite bei der thermischen Prüfung, ein Ergebnis, das angezweifelt werden muss. Stimmen HIT und VIN nicht überein, sollte die thermische Prüfung zur Diagnosesicherung durchgeführt werden.

Bei der Gruppe der Neuritis Vestibularis-Patienten gab es eindeutige und gut übereinstimmende Ergebnisse. Aufgrund des fluktuierenden Verlaufs gab es bei der Gruppe der Morbus Menière-Patienten größere Unterschiede zwischen VIN, thermischer Prüfung und HIT.

Vermutlich werden mittels Kopfpulstest hochfrequenz-sensible Typ I - Zellen stimuliert. Mittels thermischer Spülung und Vibrationsstimulation mit 40 Hz werden hingegen die niedrigfrequenz-sensiblen Typ II - Zellen erregt. Die Kombination aus beiden Methoden gibt dem Untersucher somit ein ausführliches Bild über den Funktionszustand des Vestibularapparates.

## 6. Literaturverzeichnis

AAO-HNS:

Guidelines of the diagnosis and evaluation in Menière`s disease.  
Otolaryngol. Head Neck Surg. 113 (1995) 181-185

ARBUSOW, V., SCHULZ, P., STRUPP, M., DIETRICH, M., VON  
REINHARDSTROTTNER, A., RAUCH, E., BRANDT, T.

Distribution of herpes simplex virus type 1 in human geniculate  
and vestibular ganglia: implications of vestibular neuritis.  
Annals of Neurol 46 (1999) 416-419

BÜTTNER, U., BÜTTNER-ENNEVER, J. A.:

Schwindel - Physiologie und anatomische Grundlagen der gestörten  
Eigenbewegungswahrnehmungen  
Münchener Medizinische Wochenblatt 127 (1985) 1124-1144

CAJAL, S. R.:

Studien über Nervenregeneration  
J. A. Barth, Leipzig (1908)

CAJAL, S. R.:

Histology of the nervous system of the man and vertebrates.  
Paris: Malonie (1909) , Übersetzt: Oxford University Press (1995)

CLARKE, A. H., SCHERER, H.:

Videookulographie,  
In: „ Vestibuläre Untersuchungsmethoden“  
Westhofen, M. (Hrsg.),  
PVV Science Publications, Ratingen, (2001), 43-51

COLEBATCH, J.G., HALMAGYI, G.M., SKUSE, N.F.:

Myogenic potentials generated by a click evoked vestibulocollic  
reflex.  
Neurol. Neurosurg. Psychiatry 57 (1994) 190-197

CURTHOYS, I.S.:

The neural basis of otolith testing by vibration and sound  
Best of ORL-Newsletter (6/2011), 1-6

DIAMOND, S.G., MARKHAM, C. H, SIMPSON, N. E., CURTHOYS, I.S.:

Binocular counterrolling in humans during dynamic rotation.  
Acta Otolaryngol. 87 (1979), 490-498

DIERINGER, N.:

“Vestibular compensation”: Neural plasticity and its relations to  
functional recovery after labyrinthine lesions in frogs and other  
vertebrates.  
Progress in Neurobiology 46 (1995) 97-129

- FRIBERG, U., STAHL, J., SVEDBERG, A.:  
The natural course of Menière's disease.  
Acta Otolaryngol. (Stockh.) Suppl. 406 (1984) 72-77
- FRIEDMANN, G:  
The judgement of the visual vertical and the horizontal with  
peripheral and central vestibular lesions.  
Exp. Brain Reseach 93 (1970) 313-328
- FRIEDMANN, I., BALLANTYNE, J.C.:  
Ultrastructural atlas of the inner ear  
Butterworths (1984)
- GOLDBERG, J., M., FERNANDEZ, C.:  
Physiology of the peripheral neurons innervating semicircular canals  
of the squirrel monkey. III. Variations among units in their discharge  
properties  
Journal of Neurophysiol 34 (1971) 676-684
- HALLPIKE, C.S., CAIRNS, H:  
Observations on the pathology of Menière's syndrome  
J Laryngol Otol 53 (1938) 625-655
- HALMAGYI, G.M., CURTHOYS, I. S.:  
A clinical sign of canal paresis.  
Archives of Neurol. 45 (1988), 737-738
- HAMANN, K.-F.:  
Frequenzabhängigkeit des Vibrationsnystagmus.  
HNO Informationen 4 (1995) 188-189.
- HAMANN, K.-F.:  
Differentialdiagnose zwischen Erkrankungen der Bogengänge  
und des Otolithenapparates.  
In: „Differentialdiagnose Schwindel“.  
Stoll, W. (Hrsg.),  
Springer, Berlin- Heidelberg- New York, (1998), 49-55
- HAMANN, K.-F., ARNOLD, W.:  
Menière's Disease.  
Advances in Otorhinolaryngol. 55 (1998), 169-194
- HAMANN, K.-F., SCHUSTER, E.- M.  
Vibration induced nystagmus: a sign of unilateral vestibular deficit.  
ORL 61 (1999) 74-79

- HARADA, Y.:  
Atlas of the ear by scanning electron microscopy  
Springer Verlag, Heidelberg (1983)
- KLINKE, R.:  
Gleichgewichtssinn, Hören, Sprechen.  
In: „ Physiologie des Menschen“.  
Schmidt, R., F., Thews, G., (Hrsg.)  
Springer, Berlin-Heidelberg-New York, (1993),  
25. Auflage, 291-328
- LORENTE DE NO:  
Anatomy of the eighth nerve.  
I. The central projection of the nerve endings of the internal ear  
III. General plan of structure of the primary cochlear nuclei  
Laryngoskope 43 (1933) 1-38, 327-350
- LÜCKE, K.:  
Eine Methode zur Provokation eines pathologischen Nystagmus  
durch Vibrationsreize von 100 Hz.  
Zeitschrift für Laryngol. Rhinol. Otol. 52 (1973), 716-720
- MOSSMANN, S., MOSSMANN, B., CUTFIELD, N.:  
Serial assessment of the hypoactive vestibular ocular reflex in patients  
with acute labyrinthine dysfunction.  
Proceedings, 27 Bárány Society Meeting in Uppsala  
June 10-13, O125 (2012)
- MUROFUSHI, T., CURTHOYS, I. S.:  
Physiological and Anatomical Study of Click- Sensitive Primary  
Vestibular Afferents in the Guinea Pig.  
Acta Otolaryngol. 117 (1997) 66-72
- PARK, H. J., MIGLIACCIO, A. A., DELLA SANTANA, C. C, MINOR, B. L, CAREY,  
P.J :  
Search-coil head-thrust and caloric tests in Menière's disease.  
Acta Otolaryngol, 125 (2005) 852-857
- PÉREZ-FERNÁNDEZ, N., GALLEGOS-CONSTANTINO, V, BARONA-LLEO, L,  
MANRIQUE-HUARTE, R:  
Clinical and Video-Assisted Examination of the Vestibulo-Ocular  
Reflex : A Comparative Study  
Acta Otorrinolaringol Esp. 63 (6) (2012) 429-35
- RITSCHER, B.:  
Diagnosespektrum einer überregionalen neurootologischen  
Schwindelambulanz  
Dissertation Technische Universität München (2007)

- ROBINSON, D., A.:  
 A Methode of Measuring Eye Movement using a Scleral Search Coil  
 in a Magnetic Field  
 IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)  
 Transaction on Biomedical Engineering 10 (1963) 137-145
- ROMBERG, M.F.:  
 Lehrbuch der Nervenheilkunde des Menschen  
 A. Dunker, Berlin, (1846)
- SCHERER, H.:  
 Das Gleichgewicht I,  
 Praktische Gleichgewichtsdiagnostik.  
 Springer, Berlin- Heidelberg- New York- Tokyo (1984), 1
- SCHERER, H.:  
 Registrierung von Augenbewegungen  
 In: " Das Gleichgewicht".  
 Springer, Berlin-Heidelberg-New York, (1997),  
 2. Auflage, 110-152
- SCHERER, H., HELING, K.,  
 Thermische Prüfungen in vestibulären Untersuchungsmethoden,  
 PVV Science Publication, Ratingen, (2001), 63-69
- SCHNEIDER. E., VILLGRATTNER, T., VOCKEROTH, J, BARTL, K.,  
 KOHLBECHER, S., BARDINS, S., ULBRICH, H., BRANDT, T.:  
 EyeSeeCam: an eye movement-driven head camera for the  
 examination of natural visual exploration.  
 Annals of the NY Academy of Sciences 1164 (2009) 461-467
- SMITH, C.A., SJÖSTRAND, F. S.:  
 Structure of the nerve endings on the external hair cells on the  
 guinea pig cochlea as studied by serial sections  
 Journal of Ultrastructure. Research 5 (1961) 523-556
- STENGER, H.H.:  
 Erholungsnystagmus nach einseitigem Vestibularisausfall,  
 ein dem Bechterew- Nystagmus verwandter Vorgang.  
 Archiv für Ohr- Nasen- Kehlkopfheilkunde 175 (1959), 545
- STRUPP, M.:  
 Erklärung der klinischen Untersuchung des horizontalen  
 vestibulookulären Reflexes.  
 Journal für Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie (2010),  
 11 (3): 54-62

- SZENTAGOTHAI, J:  
The elementary vestibulo-okular reflex arc  
Journal of Neurophysiol 13 (6) (1950) 395-407
- TSUJI, K., VELAZQUEZ-VILLASENOR, L., RAUCH, S. D, GLYNN, R. J, WALL, C. III, MERCHANT, S. N.:  
Temporal bone studies of the human peripheral vestibular system.  
Menière's disease.  
Annals of Otol Rhinol Laryngol 181 (2000) 26-31
- UNTERBERG, S.:  
Neue objektiv registrierbare Vestibularis- Körperdrehaktion,  
erhalten durch Treten auf der Stelle.  
Der „Tretversuch“.  
Archiv für Ohr- Nasen- und Kehlkopfheilkunde 145 (1938), 478-492
- VON STUCKRAD-BARRE, S., STRUPP, M.:  
Schwindel bei älteren Patienten von enormer Relevanz,  
Der Hausarzt 10 (2000), 62-68
- WERSÄLL, J.:  
Studies on the structure and innervation of the sensory epithelium  
of the crista ampullares in the guinea pig  
Acta Otolaryngol Suppl. (Stockh) 126 (1956) 1-85
- WIBLISHAUSER, K.:  
Untersuchungen zum auslösenden Rezeptor des  
Vibrationsinduzierten Nystagmus  
Dissertation Technische Universität München (2003)

## 7. Abkürzungsverzeichnis und Zitatverzeichnis

ENG	Elektronystagmographie
HIT	Head Impulse Test
SPN	Spontannystagmus
V-HIT	Video Head Impulse Test
VIN	Vibrationsnystagmus
VOR	Vestibulookulärer Reflex
VOG	Videookulographie
VSV	Visuelle subjektive Vertikale

Zitat 1: Erklärung der klinischen Untersuchung des horizontalen vestibulookulären Reflexes, Strupp, M., Journal für Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie 2010, 11 (3), 56

## 8. Abbildungsverzeichnis

- 1.) Abbildung 1: Darstellung der Hauptaffenrenzen und -efferenzen der Vestibulariskerne (aus: Hamann, K.-F., 1987)
- 2.) Abbildung 2: Lage der vestibulären Rezeptoren im Bogengangs- und Otolithenapparat (aus: Hamann, K.-F., 1994)
- 3.) Abbildung 3: Macula mit Otolithen (aus: Boenninghaus, H.-G., Lenarz, T., Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Springer Verlag 2001)
- 4.) Abbildung 4: Schnitt durch die Crista ampullaris und Kupula in der Bogengangsampulle (aus: Boenninghaus, H.-G., Lenarz, T., Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Springer Verlag 2001)
- 5.) Abbildung 5: Schematische Darstellung des Verhaltens des Rezeptorpotential bei Auslenkung der Stereozilien (aus: Physiologie Kompakt, Springer Verlag 1997)
- 6.) Abbildung 6: Auslenkung einer Cupula (aus: Lehrbuch der Physiologie, Klinke und Silbernagel, Georg Thieme Verlag 1996)
- 7.) Abbildung 7: Grundschemata des Vestibularisschwindels (aus: Frenzel, H., Vestibularisschwindel, „Spontan- und Provokationsnystagmus“. Springer Verlag 1982)
- 8.) Abbildung 8: Verbindungen der einzelnen Vestibulariskerne zu den Augenmuskelkernen und den äußeren Augenmuskeln beim horizontalen VOR (aus: Ito, M., 1984, S.36)
- 9.) Abbildung 9 a-c: Klinische Untersuchung des horizontalen Vestibulookulären Reflexes (aus: Strupp, M., Journal für Neurologie 2010)
- 10.) Abbildung 10: Lichtausschließende Maske zur Registrierung von Augenbewegungen mit umsteckbarer Videokamera vor dem linken Auge
- 11.) Abbildung 11: Videookulografiegerät mit Drehstuhlanlage Fa. Toennies (Originalphoto)
- 12.) Abbildung 12: Brille der Firma „EyeSeeCam“ für hochfrequente Videookulografie (Originalphoto der Firma „EyeSeeCam“)
- 13.) Abbildung 13: Durchführung einer thermischen Prüfung mit der Videobrille und Ohrspülgerät (Originalphoto)

- 14.) Abbildung 14: Vibrationsstimulator „Provonyst“ (Originalphoto)
- 15.) Abbildung 15: Untersuchungsablauf zur Registrierung eines VIN (Originalphoto)
- 16.) Abbildung 16: Brille der Firma „EyeSeeCam“ (Originalphoto: zur Verfügung gestellt von Prof. Schneider)
- 17.) Abbildung 17: Normalbefund einer graphischen Darstellung mittels HIT-Brille (Originalphoto: zur Verfügung gestellt von Prof. Schneider)
- 18.) Abbildung 18: Registrierung der Augenbewegungen mit der HIT-Brille bei Kopfdrehung nach rechts (Originalphoto)
- 19.) Abbildung 19: Originalregistrierung der thermischen Prüfung mit 44°C Wasser, keine Seitendifferenz
- 20.) Abbildung 20: Originalregistrierung bei Vibrationsreizung mit 40 Hz bei einer Normalperson
- 21.) Abbildung 21: Originalregistrierung mittels HIT-Brille bei einer gesunden Normalperson (Normaler Gain, keine pathologischen Sakkaden)
- 22.) Abbildung 22: Originalregistrierung der thermischen Prüfung mit 44°C Wasser bei Untererregbarkeit des rechten Vestibularapparates bei Neuritis vestibularis
- 23.) Abbildung 23: Originalregistrierung der thermischen Prüfung mit 44°C Wasser bei einem Patienten mit der Diagnose Neuritis vestibularis links. (Hier Unterfunktion rechts)
- 24.) Abbildung 24: Originalregistrierung der wiederholten thermischen Prüfung bei demselben Patienten.
- 25.) Abbildung 25: Originalregistrierung des beschleunigten Spontannystagmus durch Vibrationsreizung
- 26.) Abbildung 26: Originalregistrierung mittels HIT-Brille bei einer Unterfunktion rechts (Overt-Sakkaden rechts)
- 27.) Abbildung 27: Originalregistrierung mittels HIT-Brille bei einem Ausfall rechts (Overt- und Covert-Sakkaden rechts)

## 9. Tabellenverzeichnis

- 1.) Tabelle 1: Diagnostische Skalierung des Morbus Menière entsprechend der AAO-HNS, 1995
- 2.) Tabelle 2: Ergebnis der thermischen Reizung bei Neuritis vestibularis Patienten
- 3.) Tabelle 3: Ergebnis des vibrationsinduzierten Nystagmus bei Neuritis vestibularis Patienten
- 4.) Tabelle 4: Ergebnis des VOR bei Neuritis vestibularis Patienten
- 5.) Tabelle 5: Statistische Auswertung
- 6.) Tabelle 6: Ergebnis der thermischen Reizung bei Morbus Menière Patienten
- 7.) Tabelle 7: Ergebnis des vibrationsinduzierten Nystagmus bei Morbus Meinière Patienten
- 8.) Tabelle 8: Ergebnis des VOR bei Morbus Menière Patienten
- 9.) Tabelle 9: Statistische Auswertung
- 10.) Tabelle 10: Ergebnis der Probanden im Gesamtvergleich
- 11.)Tabelle 11: Ergebnis Neuritis vestibularis im Gesamtvergleich
- 12.) Tabelle 12: Ergebnis Morbus Menière im Gesamtvergleich
- 13.) Tabelle 13: Gesamtvergleich
- 14.) Tabelle 14: Statistische Auswertung des Gesamtkollektiv der Patienten ( $n=120$ )

## 10 Dankvermerk

Ganz besonders danken möchte ich Herrn Prof. Dr. med. K.-F. Hamann für die Erarbeitung und Übertragung dieses Themas, die fachliche, kompetente und geduldige Betreuung, die sich Herr Prof. Hamann während der Abfassung dieser Dissertation immer für mich nahm.

Für sein persönliches Engagement, seine ständige Unterstützung schätze und bewundere ich ihn sehr.

Herrn Volker Brodkorb, danke ich für seine Hilfsbereitschaft und freundliche Zusammenarbeit bei den Patienten - und Probandenuntersuchungen.

Ich danke Frau Dipl.- Stat. Petra Wolf und Herrn Prof. Dr. K. Ulm vom Institut für Medizinische Statistik und Epidemiologie der TU München (Direktor: Prof. Dr. K.A. Kuhn) für die gute statistische Beratung.

Bedanken möchte ich mich auch bei allen Patienten und Probanden, die sich für die Untersuchungen im Rahmen dieser klinischen - experimentellen Doktorarbeit zur Verfügung gestellt haben.

Meinem Mann danke ich für seine Hilfe bei literarischen und grammatikalischen Schwächen und für den ständigen Rückhalt und die aufmunternde Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit.

## 11 Lebenslauf

Name: Marianne Ritscher  
Geb. Havig  
Anschrift: Groschenweg 7a, 81825 München  
Geburtsdatum: 29.09.76  
Geburtsort: Oslo  
Konfession: Evangelisch  
Staatsangehörigkeit: Norwegisch  
Familienstand: Verheiratet, zwei Kinder

### Schulbesuch:

1982-1986 Grundschule in Oslo  
1986-1995 Gymnasium in Oslo  
Abschluss: Abitur

### Studium:

10/1996 – 03/2002 Medizinstudium an der Universität Ulm  
03/1999 Vorklinische Prüfung Universität Ulm  
08/1999 Famulatur – Chirurgie, Diakonhjemmets-sykehus  
Oslo, Norwegen, Dr. med. Fjell Solheim  
03/2000 1. Staatsexamen Universität Ulm  
03/2001 Famulatur – Chirurgie, Diakonhjemmets-  
sykehus Oslo, Norwegen, Dr.med Havig  
08/2001 Famulatur – Allgemeinmedizin,  
Dr. med. Hofmeister  
03/2002 2. Staatsexamen Universität Ulm  
04/2002 Medizinstudium an der TU München  
04/2002 – 08/2002 Praktisches Jahr – Innere Medizin/Hämatologie,  
Diakonhjemmets-sykehus, Oslo, Norwegen,  
Dr. med. Eika  
08/2002 – 12/2002 Praktisches Jahr – Augenheilkunde, Klinikum  
rechts der Isar, München, Prof. Mertz

12/2002 – 03/2003	Praktisches Jahr – Herz-, und Thoraxchirurgie, Universität von Kapstadt, Süd-Afrika, Groote – Schuur – Hospital, Prof. Ziller
05/2003	3. Staatsexamen TU München
08/2003 – 10/2004	Ärztin im Praktikum, Klinikum Josephinum München, Gastroenterologische Abteilung, Dr. Huber, Dr. Völker, Dr. Alcock
01/2004	Ultraschallkurs Klinikum Augustinum, München
10/2004 – 10/2005	Assistenzärztin, Innere Medizin, Klinikum Josephinum München
10/2005 – 8/2006	Assistenzärztin, Praxis Dr. Siepmann, München
09/2006	Elternzeit
01/2010 - 06/2010	Akupunkturkurs A-Diplom
04/11 – dato	Promotion bei Prof. Dr. K. F. Hamann
Sprachen	Norwegisch, Deutsch, Englisch